

Servicios ambientales del bambú

José Luis F. **Reque Campero**

Universidad Mayor de San Simón • Cochabamba • **Bolivia**
bolbambu2000@gmail.com

Resumen

En la naturaleza y sus sistemas de vida, las prestaciones de servicios ambientales se producen fluida y constantemente, donde el bambú, partiendo del interés que produce como capital natural, desempeña un rol preponderantemente diferenciado. Sin embargo, en un contexto local y académico, no se terminan por percibir estos servicios que, como recurso natural extraordinariamente renovable, dispone este material. Un escenario de investigación del Proyecto BOLBAMBU-IIACH-UMSS, propone una metodología basada en aspectos cualitativos provenientes de fuentes secundarias como del saber cognitivo, presentando una base teórico-conceptual que detecta ventajas desde diversos ámbitos para el bambú del Género Guadua. La teoría y la praxis demuestran el potencial de este recurso, posicionando una renovada agenda de uso que aborda los materiales, su dinamismo termodinámico y la captura de CO₂, aspectos ecológicos y depuración de aguas residuales, así como sus beneficios en materia energética referidos a la construcción, apuntando a restablecer sosteniblemente el axioma clave entre biósfera y desarrollo socio-productivo.

Palabras clave: *Bambú Guadua, servicios ambientales*

Abstract

In nature and its life systems, the provision of environmental services occurs fluidly and constantly, where bamboo, based on the interest it produces as natural capital, plays a preponderantly differentiated role. However, in a local and academic context, they do not end up perceiving these services that, as an extraordinarily renewable natural resource, this material provides. A research scenario of the BOLBAMBU-IIACH-UMSS Project, proposes a methodology based on qualitative aspects from secondary sources such as cognitive knowledge, presenting a theoretical-conceptual basis that detects advantages from various fields for the bamboo of the Guadua Genus. Theory and praxis demonstrate the potential of this resource, positioning a renewed use agenda that addresses materials, their thermodynamic dynamism and CO₂ capture, ecological aspects and wastewater treatment, as well as their benefits in terms of energy related to the construction, aiming to sustainably restore the key axiom between the biosphere and socio-productive development.

Keywords: *Bamboo Guadua, environmental services*

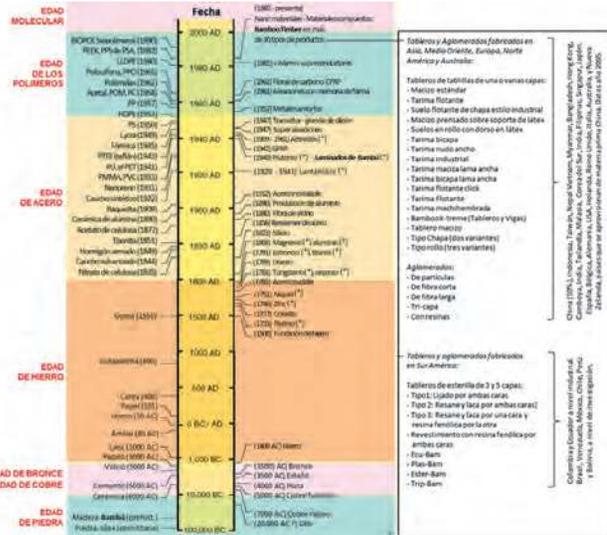


Prestaciones del bambú respecto a otros materiales de uso convencional

Los materiales han permitido el avance de la humanidad desde inmemoriales épocas, de hecho, las edades del hombre llevan el nombre de aquel material dominante de la época: la Edad de Piedra, la Edad del Cobre, del Hierro, etc. En ese marco, debemos recalcar la importancia del bambú. En una época inicial, se trataba de simples estructuras de sostén erigidas con maderas y bambúes a modo de precarias y eventuales infraestructuras para cobijo y reproducción de actividades básicas. Con el devenir del tiempo y el perfeccionamiento de las técnicas, el bambú adquiere una naciente jerarquía en la Edad de Acero, transformándose bajo la manufactura de innumerables productos, presentando un renovado fortalecimiento y consolidándose proyectualmente en la Edad Molecular con una diversidad de materiales compuestos (sobre todo, laminados y aglomerados), que presentan cualidades técnicas que caracterizan hoy al bambú (ver Figura 01) como la nueva madera del milenio, declarado así por la Organización de Naciones Unidas el año 2016.

Figura 01

Los materiales y el avance tecnológico de la humanidad en diversas edades

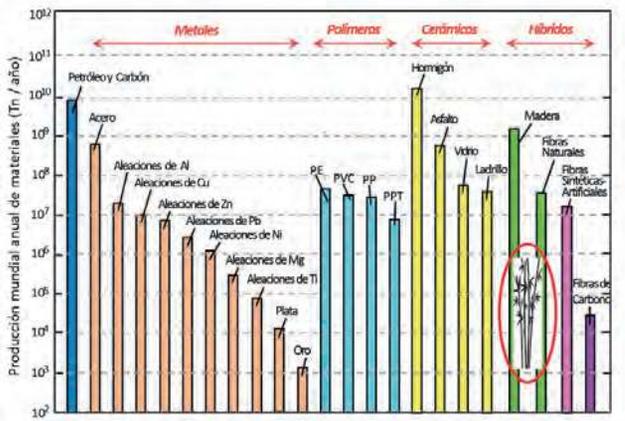


Asbhy, 2014

En el contexto mundial existe una amplia gama de productos de bambú, desde artesanales, hasta complejos sistemas estructurales, y una industria diversificada de alto nivel que produce más de 4.500 productos documentados, un logro difícilmente superado por otros materiales. Hoy se proyecta cada vez con más fuerza innovativa la promoción y difusión de productos y viviendas de bambú, en al menos un séptimo de la población mundial (Liese, 2015). Esta es la forma en la que el bambú interactúa con el mundo globalizado.

Figura 02

Producción mundial de 23 materiales de los que depende hoy la humanidad



Asbhy, 2014

El consumo de materiales para satisfacer las necesidades de la humanidad es altísimo, especialmente el de los materiales no renovables. La Figura 02 muestra el consumo anual en escala logarítmica, de los 23 materiales más utilizados por la sociedad contemporánea. Sumadas todas las cantidades de materiales (excepto el petróleo y el carbón) se llega a casi 13 mil millones de toneladas en todo el mundo. Sólo el hormigón es responsable de más de 10 mil millones de toneladas al año. Los metales representan el 6 % del total de los materiales utilizados anualmente, siendo el acero el que más destaca de este grupo. El grupo de los polímeros representa el 1 % del total; sin embargo, en los últimos 50 años hubo un vertiginoso aumento en su uso. Los materiales cerámicos dominan las cifras y representan un 84 % del consumo, debido al uso del hormigón. El último grupo de los materiales híbridos representa el 9% del total y se puede destacar el consumo de la madera, que sobrepasa incluso el consumo del acero, y donde las fibras naturales muestran un ascendente

potencial comparable al de todos los tipos de aleaciones (Asbhy, 2014). Entre el grupo de los materiales híbridos, maderas y fibras naturales, respectivamente; se inserta el bambú en su estado natural rollizo, o como material compuesto en aglomerados o laminados (bamboo timber). Ver figura 01.

Una inédita hipótesis para el bambú¹: “máquina termodinámica de la naturaleza” y su accionar como sumidero de CO2

Dos consideraciones previas e importantes al respecto:

1) La vida biológica también puede ser develada y deducida a partir de los principios y leyes de la termodinámica. Según los expertos, la termodinámica en la biología se da por el intercambio y la transformación de energía entre los organismos vivos de la naturaleza, y donde se desarrollan a su vez, complejos procesos químicos, que por la “Hipótesis de Gaia” (Lovelock, 1985), son imprescindibles para el mantenimiento de la biósfera del planeta. Es en este campo del conocimiento donde trataremos de explicar el comportamiento del bambú.

2) La primera ley de la termodinámica definida como Principio de Conservación de la Energía, uno de sus tantos enunciados, en un sentido general, determina “(...) si se efectúa trabajo sobre un sistema, la energía del sistema cambiará (...)” (Scribd, s/año).

Para nuestro propósito, veamos la cuestión así: “(...) el sol a través de su energía lumínica, le entrega calor al bambú para que éste, a través de la fotosíntesis, transforme la energía química aprovechándola en su metabolismo (...)” (Reque, 2011).

Como somos arquitectos y nuestro lenguaje es principalmente gráfico, entendemos mejor el asunto con esquemas gráficos. Partiendo inicialmente del principio elemental del funcionamiento de la máquina de vapor de Watt (primera máquina termodinámica construida por el ser humano), podemos pasar a comparar ese funcionamiento con lo que sucede en los entrenudos del tallo del bambú, cuyo funcionamiento es sistémico.

La máquina de vapor de Watt versus los tallos de bambú

Recordemos que:

1) *Si se efectúa trabajo sobre un sistema...*

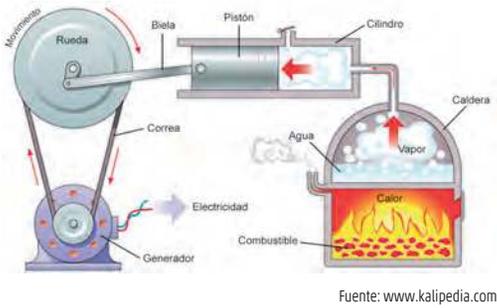
Para la máquina de vapor de Watt, se solía aplicar energía utilizando un combustible de origen fósil, que podía ser carbón o petróleo, u otro de origen orgánico a partir de los recursos de biomasa: ramas, hojas, troncos de especies forestales maderables y no maderables (Figura 03).

2) *La energía interna del sistema cambiará...*

Debido a la combustión, se producía calor logrando que el agua del hermético recipiente se evapore y se expanda, aumentando la presión y logrando que un pistón se moviese en el interior de un cilindro. Este accionar mecánico se transmitía luego a otros accesorios móviles, que a su vez generaban movimiento en una diversidad de máquinas que en el pasado requerían para su funcionamiento y aplicabilidad de este tipo de fuerza motriz. Por un generador, este movimiento podía también convertirse en electricidad. Siguiendo estos principios técnicos, veamos cuál es la similitud con el bambú y los entrenudos de sus tallos, que bajo una atrevida hipótesis actúan en pequeña escala -y muy lentamente- como la máquina de Watt (para alcanzar rigor científico, esta hipótesis requiere su verificación en laboratorio) (Figura 04).

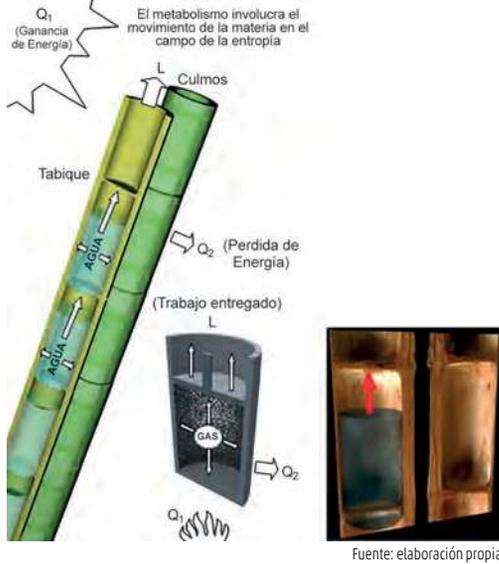
¹ Esta hipótesis fue desarrollada por el autor del presente artículo, en el marco del Programa de Doctorado en Energía y Desarrollo, llevado a cabo en la UMSS, en Convenio técnico-académico con el Instituto de Electrotecnia de la Universidad de Sao Paulo (IE-USP). El trabajo de investigación llevaba por título: “A propósito del cambio climático y el CO2: una hipótesis para el Bambú Guadua desde la termodinámica, fundamentada en la percepción cognoscitiva y Gaia”.

Figura 03
Máquina de vapor de Watt



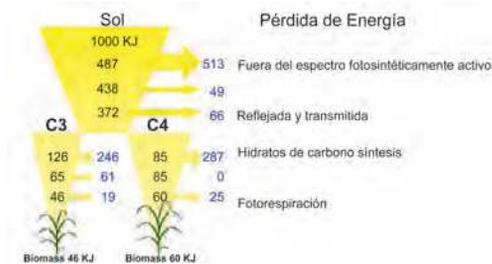
Fuente: www.kalipedia.com

Figura 04
Bambú Guadua, Máquina Termodinámica de la Naturaleza



Fuente: elaboración propia

Figura 05
Mínimas pérdidas de energía calculada para 1000 kJ de la radiación solar para la fotosíntesis de las plantas C3 y C4



* Cálculos sobre la base de la energía total inicial de la energía solar y la energía final almacenada en la biomasa

Fuente: elaboración propia

Recordemos que:

1) Si se efectúa trabajo sobre un sistema...

Es decir, si la energía del sol (Q_1) es aprovechada por el bambú Guadua para su desarrollo,

2) La energía interna del sistema cambiará...

Se produce calor a través de la fotosíntesis enfocada en la biomasa y la generación de la energía en el contexto de la bioenergía química (metabolismo) que, desarrollando primero los rizomas, se manifiesta luego y gradualmente en los tallos y el aumento de presión de cada uno de los entrenudos que, a manera de cilindros herméticos e impermeables, éstos se llenan de agua succionada desde el piso mediante innumerables rizomas.

A partir de ello, se piensa en términos hipotéticos y cognoscitivos que esta agua retenida en los entrenudos de los tallos expuestos al sol durante gran parte del día y con altas temperaturas medioambientales, necesariamente cambia de estado y, al evaporarse y luego expandirse (al igual que la máquina de Watt), induce que los entrenudos se desarrollen tan solo en el eje longitudinal, por cuanto en el otro eje transversal, los tabiques con los que de manera equidistante cuenta el bambú, impiden su desarrollo en ese sentido al actuar como eficientes anillos de tracción, que además evitan la deformación y el aplastamiento del tallo por su propio peso y el gradual incremento del agua (no olvidemos que los tallos nacen con el diámetro que tendrán de por vida, contrariamente a lo que sucede con los árboles, cuyos tallos aumentan de diámetro gradual y progresivamente con los años, por efecto del desarrollo del tejido denominado cambium vascular). Todo esto al parecer solo pasa en su proceso de crecimiento y desarrollo (L), cuyo tallo, extendiéndose súbita y longitudinalmente (a manera de una antena telescópica), alcanza su máximo desarrollo aproximadamente al término de tres meses y su madurez física y mecánica, a los cinco años.

Posterior a esta inicial y explosiva etapa de desarrollo, que concluye muy pronto en comparación a otras plantas, el agua retenida por el bambú en los entrenudos y en la época de lluvias, es liberada cuando su actividad fisiológica así lo necesita o el suelo precisa humedad debido a la conclusión de las lluvias y al inminente ingreso a una época seca, ciclos en los que el bambú autorregula la humedad del suelo a través del agua retenida para su propio beneficio. Una hectárea de bambú Guadua puede almacenar 30.375 litros de agua, si esta fuese potable, serviría para un consumo promedio diario de 200 litros/persona/día, ello supondría la dotación de agua potable para 150 personas/día (Giraldo, s/año). Esta autorregulación muestra la interdependencia y la interconexión de cada una de sus partes y la evidencia de que éstas no pueden ser estudiadas ni entendidas aisladamente, su funcionamiento es sistémico.

Diversos estudios han encontrado en el bambú del género *Guadua* gran potencialidad de uso, debido a su alta densidad por hectárea, máximo crecimiento y capacidad físico-mecánica al término de tan solo cinco años, siendo la fotosíntesis la principal fuente energética en su metabolismo y, por lo tanto, la responsable directa de estas particularidades basadas en biomasa. Un punto de partida para evaluar su potencial en el cumplimiento de esas características consiste en establecer la eficiencia de la fotosíntesis como conversión de la energía solar, donde se incorpora el carbono en la planta como estrategia de la naturaleza para disminuir el CO₂ del medioambiente.

Se ha establecido que el bambú es un gran productor de oxígeno y un perfecto retenedor de CO₂, por cuanto en la fotosíntesis se diferencian las plantas que poseen tres moléculas de carbono (C₃) (siendo que el 90% utilizan esta vía para convertir CO₂) y las que han evolucionado a cuatro moléculas (C₄), como el bambú y toda la familia de las gramíneas (10% de todas las especies que utilizan esta vía de fotosíntesis) (Zhu, et al, 2007); este resultado nos presenta al bambú como una de las plantas más dinámicas. Siguiendo esta lógica, se observa en la figura 05 que las mínimas pérdidas de energía calculadas para 1000 kJ de la radiación solar para la fotosíntesis de las plantas y la energía química almacenada en la biomasa, son cálculos que asumen una temperatura de 30° C y CO₂ equivalente a 380 ppm. La eficiencia obtenida para C₃ es de 4.6% y 6% para C₄; sin embargo, esta inicial ventaja sobre C₃ desaparecerá a medida que el CO₂ en la atmósfera se acerque a 700 ppm². Al crecer tres veces más deprisa que cualquier otra planta, se puede obtener cuatro cosechas por cada una de Eucalipto, con la ventaja de que el bambú no se tala, se poda. Mientras que un pino tarda 10 años en llegar a su madurez y su máxima captación de CO₂ y el Eucalipto, 12 años, el bambú logra su madurez al quinto año. Si un árbol necesita 60 años para crecer 20 metros y alcanzar un diámetro de corte comercial igual a 40 cm, el bambú consigue ese tamaño en tan sólo 3 meses, esto significa que no solo capta más CO₂, sino que lo hace mucho más rápidamente. Es, de hecho, un gran sumidero de carbono.

Por lo mencionado, una solución efectiva consiste en la protección de los bosques del mundo, pues la tierra, los árboles y la vegetación son una fuente importante de almacenamiento de carbono. "Necesitamos mejorar la administración de tierras y bosques, ya que es una de las formas más fáciles y baratas de reducir emisiones" (IPCC, 2020). Y según los mismos expertos del IPCC: "El 65% de la reducción potencial de carbono podría llevarse a cabo en los bosques tropicales". Tomando en cuenta estas consideraciones, ¿por qué no promover estrategias en espacios públicos urbanos o en contextos rurales donde se re-valoricen las particularidades de sus ecosistemas con plantaciones de bambú?

En este contexto, el consumo de los recursos naturales opera aún con la lógica del crecimiento ilimitado; sin embargo, cada vez hay más conciencia mundial de que los límites existen y de que muchas veces son frágiles, pero nos estamos acercando peligrosamente a algunos de ellos. El desarrollo industrial capitalista por tiempo indefinido es insostenible, debido al cambio climático y a la concepción de la naturaleza como simple recurso. Así como la termodinámica limita la eficiencia y el rendimiento de un motor, la sobredimensionada explotación de los recursos, junto al desproporcional crecimiento, se ven restringidos por la biocapacidad del planeta. Ante este desalentador panorama de calentamiento global producido por el exceso de CO₂, es posible afrontarlo reciclando este gas en lugar de solo reduciendo sus emisiones, según ha propuesto el científico Ei-ichi Negishi, Premio Nobel de Química en 2010. Para ello, según ha destacado, es preciso dar con el método para que la catálisis sea "rentable económicamente". Si bien hasta ahora la comunidad científica no ha logrado este primordial objetivo, reciclar el dióxido de carbono representa un gran problema para la humanidad. Paradójicamente, en la naturaleza y sus extensos bosques, este proceso basado en la fotosíntesis se produce constantemente desde hace millones de años, donde el bambú desempeña un rol preponderantemente diferenciado.

² Según National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el año 2022 el CO₂ alcanzó 420.00 ppm.

Se trata entonces de programar medidas de combate y mitigación basadas en este accionar fundamental de la naturaleza, antes que optar por la mera adaptación al cambio climático, como comúnmente suele plantearse. A pesar de todo el adelanto del que hoy dispone la ciencia, la economía no incorpora todos los aspectos que la naturaleza hace por nosotros, por lo que resulta urgente que comience a “descubrir” los principios y fundamentos de la indudable y “alta tecnología verde” que implementa, tal es el caso del bambú y sus extraordinarias cualidades como sumidero de carbono. ¿Cuánto costaría, por ejemplo, retirar el CO2 de la atmósfera y devolverle el oxígeno a nuestro planeta, si consideramos que todas las plantas hacen este trabajo por prácticamente a cero costos? Es posible realizar un cálculo sobre lo que nos costaría reemplazar a la naturaleza, gracias a diversos estudios que han desarrollado metodologías para asignarle un valor, estableciendo precios a la economía ambiental y sus servicios eco-sistémicos (Costanza, s/año). Todo esto con la finalidad de que, a partir de ello, con esfuerzos y responsabilidades compartidas, las autoridades políticas y las empresas tengan más probabilidades de conservar la naturaleza, comprendiendo su valor y cuánto afectaría perder el activo más valioso de la humanidad. En 1997 se estimó que costaría 35 billones de dólares al año hacer lo que la naturaleza hace por nosotros a cambio de nada. La suma de las economías anuales de todos los países del mundo alcanzó ese año 18 billones de dólares. Resultado: la naturaleza hacía el doble de trabajo que todas las economías del mundo. Lo absurdo del caso es que para algunos estudiosos de la economía convencional esto no es parte de la ecuación.

Depuración de aguas residuales

El Marco Normativo para la reutilización del agua en Bolivia, establece que la Ley de la Madre Tierra (ALP, 2010), la Ley de Riego (ALP, 2011), o la propia Constitución Política del Estado (Reglamento Ley Constitucional s/año), por la responsabilidad que les asiste, deberían haber sido instancias llamadas a involucrarse con este Marco Normativo, pues la reutilización del agua residual es un factor indispensable en tiempos de vulnerabilidad y cambio climático; sin embargo, no dispusieron ni siquiera lineamientos para abordar el tema. La excepción a estos desaciertos resulta ser la Ley de Medio Ambiente (Constitución Política, 2008), que plantea dos reglamentos de importancia orientados hacia la problemática hídrica. De ellos surge el Plan Sectorial de Saneamiento Básico (Gaceta Oficial, 1992), medianamente definido, pues como política del Ministerio de Medio Ambiente (MMAyA, 2015), para el uso eficiente del agua propone la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales con enfoque de reúso (MMAyA, s/año), limitándose tan solo al enunciado como tal y sin plantear nada en concreto. De esta coyuntura se desprende el Plan Maestro Metropolitano de Agua y Saneamiento para Cochabamba (MMAyA, 2017), documento de mucha importancia por los reveladores datos que maneja y establece, planteando con cierto rigor la importancia de los humedales artificiales para la depuración de aguas residuales (ver gráfico 01).

La purificación vegetal garantiza la eliminación de contaminantes, convirtiendo las aguas residuales en aptas para el riego. El empleo de

Gráfico 01
Marco Normativo para el reúso del agua,
Estado Plurinacional de Bolivia



Fuente: elaboración propia

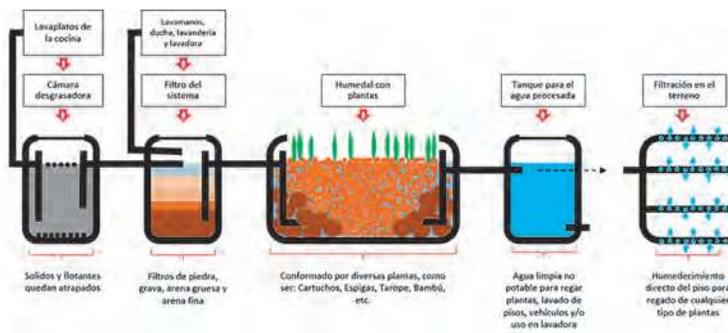


Figura 06

Humedales artificiales para aguas residuales grises

Fuente: Elaboración propia

diversa vegetación para depurar estos residuos, eliminándolos, conteniéndolos o degradándolos como contaminantes medioambientales en medios hídricos, edáficos o atmosféricos, se conoce como fitorremediación, pues establece un equilibrio natural (MMAyA, 2014).

Comúnmente, estos sistemas funcionan con materiales de filtración basados en arena limpia dispuesta en diversos diámetros en estanques. El principio es el mismo que desempeñan los ríos en un medio natural donde, al pasar el agua a través del suelo, los microorganismos naturales degradan la materia orgánica. Por principio de mimesis, se ha demostrado que el bambú trabaja muy bien debido a su denso sistema de raíces, siendo capaz de soportar múltiples factores estresantes medioambientales, como relativa falta o exceso de agua e, incluso, temperaturas extremadamente bajas.

Condiciones detectadas respecto al potencial del bambú como importante activo ambiental y procesamiento biológico de mimesis

La información que se detalla a continuación ha sido extraída de la empresa: PHYTOREM (TSA, 2011), que ha desarrollado Eco-Plantas para el tratamiento de aguas residuales depuradas con bambú y capacidades en saneamiento y eco-fisiología. Se trata de combinaciones únicas que permiten prever y optimizar los rendimientos depuradores de cada especie de bambú utilizada en este tipo de eco-plantas, trabajando además en la optimización de tecnologías y su adaptación a todo tipo de configuraciones, garantizando el tratamiento de aguas sin olor (debido a la contaminación), limitando los residuos y, al mismo tiempo, produciendo recursos forestales no maderables para su manejo sostenible. Estas son algunas de las inmediatas ventajas de uso de este recurso, existiendo otras como el de su transformación y manufactura, que pueden poner en marcha otras sub-áreas de valorización.

La tecnología "Bambou-Assainissement" (Figura 07), es un sistema de tratamiento biológico de contaminantes de suelos y agua, cuya vocación es valorizar los elementos contaminantes en biomasa vegetal sin producir lodos de depuración. Esta tecnología utiliza la microfauna y la microflora del suelo para la rápida degradación de los contaminantes. Estos procesos de biodegradación son vigorosamente apoyados por el bambú, donde podemos mencionar algunos importantes aspectos:

- Dispone de un sistema de raíces que constituye un soporte físico y fértil de desarrollo de los microorganismos (aumento de un factor de 100 en la diversidad y el número de bacterias entre un sustrato con y sin bambúes).
- Proporciona a los microorganismos el carbono y la energía (de la fotosíntesis) necesaria para el mantenimiento de su actividad, absorbiendo agua y elementos minerales.



Figura 07

El metabolismo del bambú y su soporte bacteriano que retiene elementos mineralizados en el tratamiento biológico de aguas servidas

Fuente: PHYTOREM



Figura 08

En una Eco-Planta con bambú los problemas medioambientales se transforman en recursos ecológicos

Fuente: PHYTOREM

- Dispone de rizomas colonizadores que permiten homogeneizar rápidamente el tratamiento en el conjunto de la superficie. Esta parte subterránea de la planta favorece la permeabilidad del suelo, su aireación y la actividad de los microorganismos.
- La fitorremediación está dada por el bambú, cuyo importante crecimiento, resistencia y resiliencia están totalmente reconocidos, con la ventaja de ser además una planta rústica, de características leñosas y sin floración anual. De esta manera, su actividad depuradora se mantiene durante todo el año, interviniendo la descontaminación activa con la tala de sus tallos aéreos.
- El crecimiento de las plantas de bambú está acompañado de un aumento de sus retenciones y un crecimiento de la actividad bacteriana del suelo.

La técnica se basa en las propiedades naturales del bambú y, particularmente, en la densidad de sus raíces capaces de fijar las bacterias (Figura 08), degradando y eliminando sus elementos contaminantes, cualidades asociadas a una tasa de crecimiento extremadamente elevada, que hacen de la planta un órgano de tratamiento muy eficaz, naturalmente extensible y con una vida útil ilimitada.

Los efluentes a ser tratados y depurados serán conducidos después de un pre-tratamiento, hasta la plantación de bambúes por una red de colectores. Los efluentes se infiltran naturalmente en las raíces del bambú, así los microorganismos presentes permiten degradar y eliminar todos los elementos contaminantes, nutriendo los bambúes y garantizando su crecimiento. Este proceso garantiza la producción y altos rendimiento de biomasa.

El tratamiento de efluentes con alta carga de contaminación permite tratar aguas y suelos, y para ello toma en cuenta la naturaleza de diversos contaminantes (composición, densidad, cantidad), así como las características de los suelos (acidez, permeabilidad, porosidad), el clima y las particularidades del sitio donde debe ser implantada la instalación. Estos elementos son determinantes en la selección de las variedades de bambúes -en este caso, el Género Guadua-, y las especies de bacterias para un resultado óptimo.

Estas eco-plantas tienen la particularidad de no producir lodos, residuos residuales ni olores, adaptándose a todas las zonas geográficas (urbanas, periurbanas, rurales, etc.), latitudes y climas, permitiendo de esta manera tratar varios tipos de aguas residuales (Tabla 01), lo que garantiza la transferencia de tecnología en cualquier ámbito.

Las soluciones extensivas pueden desarrollar/crecer naturalmente: la misma plantación puede tratar de 50 a 100% de carga de contaminación suplementaria (hídrica y orgánica) en un lapso de 5 a 10 años, según el clima. Las soluciones extensivas funcionan en suelo sedentario y se basan sobre una optimización de interacciones entre el clima, el suelo y los bambúes. Estas soluciones consisten en instalar plantaciones, cuya extensión es delimitada por barreras específicas (anti-rizomas). La superficie de la plantación depende de las relaciones entre el clima, los efluentes y el suelo, y funciona con energía solar y fotosíntesis, respondiendo a varios objetivos:

- Obtener un "vertido cero" hídrico en el medio acuático superficial.
- Respetar las normas de vertido para las aguas que pueden infiltrarse.
- Secuestrar CO₂ (una plantación de bambúes maduros de una hectárea absorbe aproximadamente 30 toneladas de CO₂ por año³) (Fangyuan, 2020).
- Producir biomasa.

Soluciones que permiten evitar la internalización del tratamiento de lodos y, a medio plazo, valorizar la biomasa producida. El problema del tratamiento de lodos es así transformado en una solución económicamente rentable. Se utiliza una solución específica para tratar sedimentos y valorizar in situ elementos contaminados a través de sustratos de cultivo y otras soluciones a medida. También se toman en cuenta soluciones intensivas de tratamiento de sedimentos contaminados, bajo el desarrollo y la disposición de plantaciones de bambúes. Las eco-plantas con este recurso ofrecen la ventaja de una importante producción de biomasa con alta calidad, que puede ser valorizada según el uso que se le dé. Para atender las crecientes necesidades del gran mercado industrial, la empresa PHYTOREM desarrolló otro sistema de depuración de aguas denominado "Bambou-Assainissement." En esta alternativa, el bambú no es

³ El CO₂ queda almacenado en el tallo del bambú, donde es liberado a la atmósfera si la planta muere. Si el bambú es cosechado en su época de madurez (quinto año) y es procesado en un producto sostenible y duradero, el carbono queda encerrado en el material. Si el bambú es industrializado en materiales compuestos pesados, como el "Bamboo X-treme" de la Empresa MOSO Bamboo, el CO₂ almacenado en un m³ de este material, puede llegar a alcanzar las 1.662 toneladas de CO₂ (MOSO, 2022).

AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	AGUAS INDUSTRIALES	AGUAS PLUVIALES	LIXIVIADOS
Generalmente producidas por: hoteles, campings, diversidad de viviendas como urbanizaciones, infraestructuras aisladas, etc.	Aguas generadas principalmente por la gran industria agrícola y agroalimentaria (viticultura, criaderos, queserías, panaderías industriales, etc.)	Obtenidas a partir de: carreteras, centros comerciales, zonas de actividad, etc.	Zonas de compostaje, de descarte, vetederos, etc.
Generalmente caracterizadas por una contaminación orgánica moderada, un exceso de nutrientes y un importante flujo hídrico.	Compuestas generalmente por una importante contaminación orgánica, asociada a una falta de nutrientes y un desequilibrio entre los elementos y una variación del pH.	Con origen de grandes superficies, resultantes de inclemencias climáticas (lluvia, aguaceros, tormentas, nieve, etc.). Este tipo de agua tiene generalmente una contaminación orgánica débil, con hidrocarburos, sales, metales pesados y pequeñas partículas de tierra.	Líquidos que se forman como resultado de pasar o "percolarse" a través de un sólido. Son inertes porque que no son solubles, ni combustibles, ni biodegradables.

Tabla 01

Características de diversas aguas residuales

Fuente: PHYTOREM

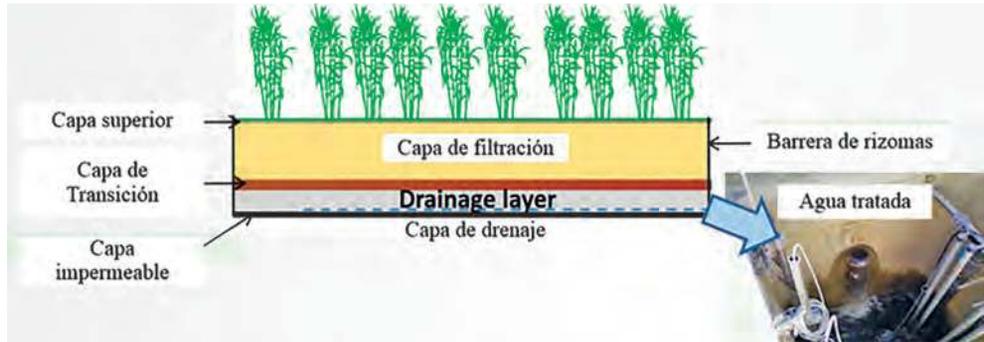


Figura 09

Plantaciones de bambú para obtener agua tratada de la industria

Fuente: PHYTOREM

plantado en el suelo existente, sino que se encuentra sobre un suelo especial compuesto con materiales de filtración. Ver Figura 09.

Energía y Construcción

Un material como el bambú Guadua, con altas particularidades físico-mecánicas demostradas en laboratorio, utilizado en las áreas tropicales de Bolivia, principalmente está en manos de poblaciones vulnerables y más pobres, implementándose en torno a él una subcultura de miseria y tugurio. En otras condiciones, el empleo de este material en la construcción evitaría a la región la salida de divisas por pago de importación de otros materiales que bien podrían ser reemplazados por éste (el caso de los laminados o aglomerados, por ejemplo), por ser ecológico, de bajo costo y reducido consumo energético en su producción. Investigaciones realizadas en la Universidad Católica y Pontificia de Río de Janeiro, PUC-Río, demostraron que el bambú Guadua dispone de una baja energía por unidad de tensión y una alta resistencia a esfuerzos de tracción (Ghavami, 2002). Sin embargo, posee también desventajas: bajo módulo de elasticidad, variación de su volumen por absorción de agua y susceptibilidad al ataque químico y de microorganismos (van der Lugt, 2017).

Tabla 02

Comparación de algunos materiales con un cálculo de carga máxima según EUROCODE 3 y 5. Estudio de caso: Euler 2

Esfuerzo de compresión a una barra de 2.5 m y 8.7 kg en tres materiales distintos (Madera, Bambú y Acero)		Madera tipo B	Bambú (Género Guadua)	Acero A-36	Aluminio	Cemento
Densidad	g/cm ³	0.55	0.7	7.8	Sin datos	Sin datos
Módulo de elasticidad	kN/cm ²	740	600	2.100		
Esfuerzo a compresión	kN/cm ²	1.1	1.5	23.5		
Sección	D-d	D=9 cm	D=12 cm d=9cm	D=5.1 cm d=4.5 cm		
Área	cm ²	63.6	49.5	4.4		
Inercia	cm ⁴	322.1	695.8	12.7		
Esbeltez	λ	111.1	66.7	147.2		
Peso	kg	8.7	8.7	8.7		
Esfuerzo máximo admisible	kN	15.1	25.6	27.6		
Colombia/Alemania	Precio COP/€	2 5	1 3	4 8		
Eco-Costo (Ghavami, 2002)	M€/m ² N/mm ²	80	30	1.500	2.500	240
Relación de Energía requerida para la obtención del material (sumatoria de unidades)		2.67	---	50	83.33	8

Fuente: Laude & Overman, 2008

La Tabla 02 hace una comparación de ciertas propiedades de cinco tipos de materiales y se basa en la carga máxima establecida por EUROCODE 3 y 5, con el estudio de caso: Euler 2. Para saber cómo se comporta la Guadua, comparándola con la madera o el acero, basta un simple procesamiento de datos para su ejemplificación: se dispuso en los mencionados materiales (madera, bambú y acero), barras sometidas a esfuerzos de compresión, cada una de 2.50 metros de longitud, de secciones comunes y con un peso similar a 8.7 kilogramos.

Analizando la tabla se llega a la siguiente conclusión: el bambú Guadua, gracias a su forma cilíndrica y hueca, dispone de una esbeltez y un radio de giro muy favorables con respecto a

secciones de madera o acero con pesos iguales. Por otra parte, resiste mucho más que la madera. En cuanto a la relación entre fuerza máxima y peso, la Guadua presenta un valor interesante próximo al acero, en este entendido, es obvio que, para un mejor rendimiento respecto a éste, fácilmente se podría disponer el aumentar su sección, a costa de acrecentar su peso y su costo.

La Figura 10 muestra cuatro grandes grupos de materiales, en la que en el conjunto de los metales, los valores más altos de energía por unidad de masa, los tienen los metales preciosos. En los diversos tipos de polímeros, este valor energético esta en alrededor de 1000 Mj/Kg. En el caso de los materiales cerámicos, los valores más altos son para el nitrato de aluminio, el vidrio y el cemento. Por el contrario, los ladrillos y el hormigón, tienen los valores más bajos. En el grupo de los materiales híbridos, los valores energéticos más bajos por unidad de masa, corresponden al bambú, a las maderas blandas, como duras, y, finalmente a la madera contrachapada.

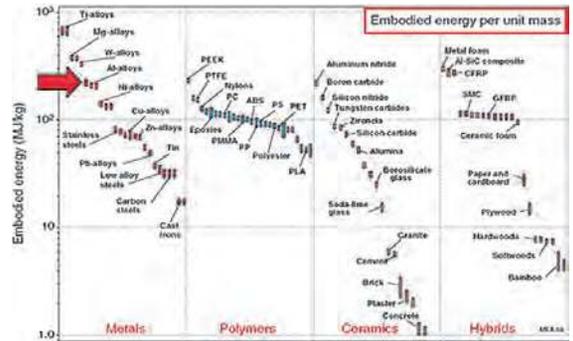


Figura 10
Energía embebida por unidad de masa en cuatro clasificaciones de materiales

Fuente: Asbhy, 2014

Conclusiones

No es posible el sustento de la vida en la Tierra sin los servicios y la interrelación ecosistémica de sus especies, este el arduo paradigma a alcanzar, donde el bambú adelanta interesantes y valiosos beneficios que contribuyen enormemente al bienestar humano. Su vertiginoso crecimiento junto al intrincado sistema de raíces genera más biomasa que cualquier otra planta, lo que favorece la disposición de una gran cantidad de materia prima, consiguiendo como material ser un mejor sumidero de CO₂, con productos de carbono neutro que evitan la presión sobre otros materiales maderables obtenidos de árboles de crecimiento lento, sean coníferas o latifoliadas. Es en este contexto que el mayor aporte del Proyecto BOLBAMBU, se traduce en los conocimientos adquiridos con el desarrollo cognitivo aplicado desde la praxis conceptual y operativa del bambú. Un nuevo entendimiento sobre los materiales que nos ofrece la biodiversidad boliviana, con el discernimiento traducido en experiencia, actitudes y habilidades comprobadas en el manejo de la Guadua durante más de veinte años y a partir del apoyo colectivo del Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Ciencias del Hábitat, de la Universidad Mayor de San Simón. Aprendizaje asimilado y transmitido que lleva a tomar en cuenta a este nuevo recurso forestal no maderable en el diseño de productos sostenibles, con avanzados procesamientos y alto valor agregado.

El bambú viene a establecer una renovada agenda de uso para nuevos materiales, planeando su dinamismo en “atrevidas hipótesis” desde la termodinámica, o su eficiente servicio demostrado en la captura de CO₂, la ecología y la depuración de aguas residuales, enriqueciendo y mejorando ostensiblemente la estructura morfológica del suelo, gracias a la elevada actividad microbiana de sus rizomas, capaces de

descomponer sustancias nocivas de aguas residuales, así como sus comprobados beneficios en materia energética en el rubro de la construcción, estando en camino de satisfacer en diversos rubros la creciente demanda de materias primas, con una diversidad de innovadores productos. Bajo esta visión, el Proyecto BOLBAMBU ha orientado su accionar al uso del bambú del Género *Guadua* como un recurso natural abundante y apto para el saneamiento ambiental, incorporándolo en la construcción sustentable como importante insumo estructural.

Por otra parte, y con el fin de estimular el aprovechamiento del bambú en función de sus más importantes bio-valores, BOLBAMBU comienza hoy a definir una posible cadena productiva en laminados y aglomerados industrializados, en el ecosistema físico del Municipio de Morochata, caracterizado por ser cabecera de un bosque sub tropical húmedo, en un territorio que presenta un proceso especial y "coevolutivo", donde se espera que extensas plantaciones de *Guadua*, permitan revalorizar sus servicios ecosistémicos y sistemas de gobernanza. Con este fin, se desarrolla a diseño final la construcción de la base teórico-conceptual para los denominados "Proyectos Inducidos", definidos en la Convocatoria de la Dirección de Investigación Científica y Tecnológica, DICyT-UMSS. La teoría y praxis del proyecto mostrará el potencial del bambú como recurso forestal, estableciendo lineamientos sobre principios y valores desde la Ética Medioambiental con su manufactura desde el diseño industrial, impulsando su transformación como materia prima local, sustituyendo las importaciones, evitando la presión hacia las maderas tropicales y profundizando el Modelo de Desarrollo Económico Social-Comunitario, reorganizando la forma de producir, gestionar y consumir los recursos naturales para posicionar desde la Ley de la Madre Tierra y el "Vivir Bien", una nueva agenda tecnológica, en la apuesta por reparar el axioma clave entre biósfera y tecnología.

Como vimos, el bambú fácilmente nos introduce en la fascinación; sin embargo, esta seducción no deja de ser todavía algo lejana en un contexto como el nuestro, donde todavía no existe una cultura de uso para este recurso como sucede en Colombia, Ecuador y gran parte del Asia. Si bien contamos con sólidos hechos y evidencias de la "alta tecnología verde" que promociona el bambú -demostrada hasta en laboratorio-, no actuará por sí sola propiciando el cambio, sin antes haber entendiendo sus mensajes con sentido y razón. En la búsqueda del bien común desde la sostenibilidad, el aprendizaje hoy debe regirse por nuevas leyes, aquellas establecidas por la propia naturaleza.

Referencias



Asbhy M.F. (2014) *Materials and the environment*. Elsevier Science. ISBN 978-0-12-385971-6

Asamblea Legislativa Plurinacional (ALP), (2010) *Ley de Derechos de la Madre Tierra*. Disponible en URL: <https://bolivia.infoleyes.com/norma/2689/ley-de-derechos-de-la-madre-tierra-071>

Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (2008) Disponible en URL: <http://www.sepdavi.gob.bo/cs/doc/159Bolivia%20Constitucion.pdf>

Costanza R. (s/año) "Sostenibilidad ambiental y complejidad social: ¿Dos caras de la misma moneda?". Disponible en URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/3886/Sostenibilidad%20ambiental%20y%20complejidad%20social.pdf?sequence=1>

Fangyuan B. (2020) *Bambú: un recurso vegetal sin explotar para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. ELSEVIER, Disponible en URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519329911>

Giraldo C. y Sabogal H. (s.d.) *Bambú Guadua*. Centro Nacional para el Estudio del Bambú *Guadua*, CNEBG. Corporación Regional del Quindío. CRQ.

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, 2020). *El cambio climático y la Tierra* (Resumen para responsables de políticas. ISBN 978-92-9169-354-2. OMM-PNUMA. Disponible en URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf

Gaceta Oficial de Bolivia, 1992. *Ley del Medio Ambiente*. Disponible en URL: http://www.mmaya.gob.bo/uploads/documentos/ley_1333.pdf

Ghavami K. (s/año). Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Department of Civil Engineering. Disponible en URL: <https://www.researchgate.net/profile/Khosrow-Ghavami>

Liese W. (2015) *Bamboo the plant and its uses*. Springer.

Lovelock J.E. (1985) *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la Tierra*. Oxford University Press. Herman Blume Ediciones. ISBN: 84-7634-252-7

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, MMAyA, 2015. *Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico*. Disponible en URL: <http://bibliotecadelagua.sirh.gob.bo/docs/pdf/199.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, MMAyA (s/año). Disponible en URL: <http://www.mmaya.gob.bo/>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, MMAyA, 2017. *Rendición Pública de Cuentas Audiencia Parcial 2017*. Disponible en URL: <https://www.mmaya.gob.bo/>

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, MMAyA, 2014. *Plan Maestro Metropolitano de Agua y Saneamiento de Cochabamba*. Disponible en URL: <http://bibliotecadelagua.sirh.gob.bo/docs/pdf/212.pdf>

MOSO Bamboo: https://blog.moso-bamboo.com/es/cu%C3%A1nto-co2-se-almacena-en-el-bambu?lang_selected=true

Reque J.L. (2011) *A propósito del cambio climático y el CO2: una hipótesis para el Bambú Guadua desde la termodinámica y fundamentada en la percepción cognoscitiva y Gaia*, 2011. Programa de Doctorado en Energía y Desarrollo, UMSS-USP, Cochabamba, Bolivia (Trabajo inédito).

Reglamento a la Ley Constitucional de la República, Reglamento al Marco Institucional. Disponible en URL: <https://www.lexivox.org/norms/BO-DS-28817.xhtml>

s.d. *Leyes de la termodinámica*. Disponible en URL: <https://es.scribd.com/document/559203052/Leyes-de-la-termodinamica>

Tropical and Subtropical Agroecosystems (TSA), 2011. *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*. Disponible en URL: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

Van der Lugt P., 2017. *Booming Bamboo. The (re)Discovery of a sustainable material with endless possibilities*. Publisher: Materia Exhibitions B.V. Naarden, The Netherlands.

Zhu Xin-Guang, Stephen P. Long and Donald R. Ort. "What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?", 2007. ELSEVIER, 2007. Disponible en URL: <http://naldc.nal.usda.gov/download/36097/PDF>

