



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

**ENTAC 2010**

XIII Encontro Nacional de Tecnologia  
do Ambiente Construído

## **INTRODUCCIÓN DEL BAMBÚ EN PARAGUAY COMO MATERIAL ALTERNATIVO**

**Natalia Soledad Porro**

Departamento de Ciencia y Tecnología – Universidad Católica de Asunción – Asunción-Paraguay  
e-mail: [natiporro@yahoo.com.ar](mailto:natiporro@yahoo.com.ar)

### **RESUMEN**

Paraguay es un país rico en recursos forestales, esto trae aparejado la explotación desmedida de la madera y la deforestación de los bosques existentes. Las características climáticas presentes en la zona son óptimas para la proliferación del bambú, que a diferencia de otras regiones del mundo, no es explotado. Esto se debe a la falta de información sobre las ventajas que brinda el material para ser utilizado en la construcción.

El aprovechamiento sustentable del material, trae a discusión el problema medio ambiental que nos atañe a todos e intenta demostrar que contamos con los recursos necesarios para satisfacer necesidades sin dañar al medio ambiente ayudando a evitar en este caso la tala de árboles. Las plantaciones de bambú producen cuatro veces más oxígeno que la mayoría de las plantas y mejoran el proceso de fijación de nitrógeno en el suelo. Las características de la especie dan lugar a un eficiente plan de cultivo y producción debido a que una vara de bambú luego de ser cortada no necesita ser plantada nuevamente, resiste ciclones, inundaciones y plagas, está en renovación constante y en aumento de volumen por hectárea.

La investigación realizada comenzó con una recopilación profunda de datos del bambú debido a la falta de existencia de estudios en el país. Una vez identificados los antecedentes existentes comparados con otros países, se consideró como primordial reconocer la especie existente en la región ya que dichas características delimitarían al proyecto. Se reconoce la especie denominada “*Guadua Chacoensi*” evaluando además los requerimientos de clima y suelo, estructura y características físicas: resistencia, duración, peso, contenido de humedad, y limitaciones.

El proyecto apunta a evaluar la potencialidad del bambú como material alternativo de construcción y su explotación comercial. Para demostrar la viabilidad para su aplicación en estructuras, se realizaron ensayos del comportamiento del material ante las diferentes fuerzas (tracción, tensión, flexión y compresión), comportamiento a la combustión, curvado etc. Los valores obtenidos fueron cotejados con ensayos realizados por expertos extranjeros, logrando resultados coincidentes. Estas pruebas permitieron definir empalmes y encastrés para el rediseño de muebles ayudando de esta manera a comprobar las diversas aplicaciones en estructuras y sobre todo destacando su resistencia, utilizando la misma tecnología aplicada a la madera

## INTRODUCCIÓN

**1.1** Es sabido a través de campañas de concientización que el medio ambiente es azotado por el hombre, afectándolo directamente y uno de los puntos más analizados, es la utilización de los recursos naturales para adquirir materiales, sobre todo en la explotación de la flora para la obtención de la madera.

Paraguay posee como recurso forestal al bambú que es una Gramínea que forma densos matorrales (guaduales) altos en suelos húmedos, tiene tallo cilíndrico huecos, superficie lisa con anillos o nudos, sin grandes ramificaciones (figura 1). Esta gramínea adquiere su máxima altura a los 7 meses aproximadamente y la madurez de su madera de 3 a 5 años. Existen más de 1200 especies en climas templados, subtropicales y tropicales. Se clasifican en géneros distintos, cada especie varía en cuanto a sus características. Los materiales que nos ofrecen lo distintos tipos de bambú son muy diferentes, variando en resistencia, durabilidad, flexibilidad, etc. También la edad, época de corte y tratamiento tienen una influencia decisiva en las características del material.



Figura 1: Estructura física del bambú

La comercialización del material está determinada por su rentabilidad. Esta considera como requisito fundamental el reconocimiento del comportamiento de la especie en un lugar determinado, y conocer los tiempos de maduración y producción por mata. La marcada diferencia entre las características de cultivo y producción entre el bambú con otros materiales como la madera, introdujo al proyecto en una visión medio ambiental, resaltando puntos importantes como el ahorro de energía, el volumen de producción por hectárea. La dinámica que cumplen sobre el ecosistema donde se asientan les permite perpetuarse, dado que son comunidades altamente especializadas de las cuencas hidrográficas, agentes protectores de los suelos, reguladores de la calidad y cantidad de agua. Y un aporte muy importante es que puede ser sembrado en laderas para ayudar a detener la erosión del suelo.

Por ser un material óptimo para la construcción y fiel al medio ambiente, hoy en día es reconocido por Arquitecto y Diseñadores ya que además de sus características de resistencia y elasticidad (por lo cual se lo denomina Acero Vegetal) cuenta con un valor agregado que lo diferencia, la “estética” es muy importante destacar este punto debido existe una demanda importante a nivel de diseño para satisfacer los requerimientos del mercado. Hoy se observa en varios países la aplicación del material en construcción de viviendas, edificios, etc. con resultados extraordinarios.

### 1.2 Identificación de la especie

En Paraguay la única especie reconocida científicamente es la *Guadua Chacoensis*.

Esta gramínea es de rápido crecimiento, resistente, liviana y apta para múltiples usos, se le está otorgando en los últimos tiempos la atención e importancia que merece por su versatilidad para diferentes aplicaciones. La *Guadua Chacoensis* responde a los siguientes requerimientos de clima y suelo. **Temperatura:** Uno de los factores climáticos limitantes es la temperatura puesto que el rango óptimo oscila entre los 20° y 26° C, **Altitud:** Normalmente prospera a altitudes que no exceden los 2000 msnm, siendo la óptima entre los 800 y 1600, **Precipitación:** Los requerimientos de lluvia son superiores a 1200 mm anuales y los óptimos fluctúan entre los 2000 y los 2500 mm/año, **Humedad relativa:** Este es un factor muy importante en el desarrollo de la especie. Los bosques de guaduales son favorecidos por una humedad que esté comprendida entre el 75 y el 85%. **Brillo solar:** La

luminosidad para un óptimo desarrollo de la caña guadúa debe estar en el rango de 1800 a 2000 horas/luz/año, lo que equivale aproximadamente a 5 a 6 horas de luz por día. Con respecto a los suelos, las características físicas que más favorecen el desarrollo de esta gramínea son las de suelos francos, franco-limosos y francos arenosos con texturas gruesas y medias, con buen drenaje y capacidad para conservar la humedad sin llegar a anegarse. Los suelos arcillosos o pesados no son los mejores para el desarrollo de la planta. En cuanto a las **propiedades químicas** de los suelos es necesario que éstos sean de preferencia ricos en materia orgánica y que tengan un pH ligeramente ácido entre 5.5 y 6.0.

### 1.2.1 Reconocimiento del comportamiento de la especie

Dado que su comportamiento está limitado por las características del material, se realizó un estudio profundo de la **Estructura Física**: clasificación de los rizomas. Forma, corteza, culmos, madera. Anatomía del tallo, características principales, hojas, flores y frutos. **Características Físicas**: Duración, peso, resistencia, contenido de humedad, grietas.

### 1.3 La preservación de bambú

Los tallos de bambú son particularmente susceptibles a hongos y hupes ante valores superiores de humedad al 18%; para gusanos y termitas entre 12 y 18 % de la humedad relativa. Estos dañan la estructura de tal manera, que ciertas partes serán inutilizables y tendrán que ser cambiadas. Particularmente las clases de Xilófagos (Dinoderus, Bostrichidae, Lyctidae), que perforan los tallos vivos cosechados, acusan daños graves.

Para evitar la vulnerabilidad es muy importante un buen secado y almacenamiento (figura 2). En el bambú cortado, los entrenudos huecos a veces están llenos de agua. Para el uso en la construcción, se tienen que secar los palos lentamente y después seleccionar según las curvas, diámetro, peso y prueba de sonido. El bambú se comercializa luego de dos o tres meses de ser cosechado con un porcentaje del 30 al 50% de su humedad inicial en verde. Después de aproximadamente seis meses de secado aéreo, la humedad se reduce, hasta alcanzar un valor promedio de aproximadamente 15 %. Para evitar deformaciones después de la cosecha, estas se almacenan de manera horizontal, protegiéndolas contra el sol, lluvia, humedad, etc. con un buen sistema de ventilación



Figura 2: Detalle de la colocación del bambú para su secado y almacenamiento

### 1.4 El bambú en la construcción

Hoy en día el bambú a nivel mundial es reconocido como un material ecológico alternativo, cuyas características de resistencia, flexibilidad y estética natural lo potencian mostrando una visión más moderna. Combinado con otros materiales debido a su versatilidad, da como resultado productos sumamente innovadores, de esta manera el material se introduce al mundo del Diseño y Arquitectura pudiendo observar sus múltiples aplicaciones en construcción de casa, iglesias, complejos turísticos, equipamientos urbanos, Diseño de productos, techos, pisos, etc. (figura 3).



Figura 3: Diferentes aplicaciones del bambú

## 2 Objetivo

Demostrar la viabilidad del bambú como material alternativo mediante ensayos para las diferentes aplicaciones en estructuras, teniendo en cuenta sus características y limitaciones.

## 3 Metodología y resultados

### 3.1 Ensayos

Analizadas las características físicas, químicas de la única especie reconocida, se realizaron ensayos para determinar la reacción del material ante esfuerzos, curvado y exposición al fuego. Estos ensayos permitieron obtener valores óptimos para las distintas aplicaciones consideradas. Se definieron empalmes, encastres y sistemas de unión para la utilización precisa del material en la construcción.

### 3.2 Material sometido a las diferentes fuerzas

Sabemos que las características mecánicas de la madera del bambú son afectadas por el clima, el suelo, ubicación, edad, tiempo de cosecha, humedad, etc.

También se presentan grandes diferencias, si las fuerzas inciden en forma paralela o perpendicular a la fibra. La variación en las características mecánicas del bambú como cilindro hueco se debe a las distintas densidades de las paredes del tubo y los discos del nudo perpendicular.

En la sección transversal de bambú se diferencia una zona oscura exterior de aproximadamente 30% y una zona blanca porosa interior de 70% aproximado. Con el aumento de altura sobre el suelo, la porción de las fibras externas (en relación con la sección transversal) es más alta.

**Resistencia a la tracción:** La zona exterior tiene una **firmeza a la tracción** de dos a tres veces más que el interior. En los nudos esta firmeza es moderada, puesto que las fibras se cruzan. También con palos de más de 5 años la firmeza a la tracción se reduce.

**Resistencia a la compresión:** esta resistencia aumenta con el tiempo de maduración. Los resultados de la prueba determinaron que: los bambúes de 6 años tienen una resistencia de compresión 2,5 veces más, que una guadua de un año. Las secciones de un tubo con nudos tienen características mecánicas 8% más altas que las que no tienen nudo, al aplicarle cargas de compresión paralelo a las fibras. Ante la presión perpendicular a las fibras los nudos absorben la fuerza hasta en un 45%, comparándolos con las secciones que no tienen nudo. Los aspectos que inciden en la densidad de los vasos para aumentar la firmeza a la presión son la altitud de la zona y la edad de los tallos.

**Resistencia a las acciones de la fuerza cortante:** La **firmeza a las acciones de la fuerza cortante** es más alta con los tallos delgados que con los gruesos, debido a la mayor proporción de fibras de alta resistencia en la sección transversal. Las secciones con nudos tienen una firmeza a las fuerzas cortante 50% más alta que las intersecciones.

Las **deflexiones** elásticas son mínimas. En donde no se puede evitar una deflexión en la construcción (o donde molesta), se pueden torcer los tallos ya cosechados (como las vigas pretensadas) que se enderezaran al aplicarle las cargas. La acumulación de fibras de alta resistencia en la zona externa hace que sea efectivo a las fuerzas de tracción, flexión y cortante, teniendo gran elasticidad. Igual que la madera, al aumentar la carga, se reduce el módulo de la elasticidad (5-10%). Para el cálculo en construcciones se puede utilizar un **módulo de elasticidad** de 2.000 kN/cm<sup>2</sup> (figura 4).



Figura 4: Ensayo a la compresión del material.

### Los índices del material

Los valores en la tabla son promedios del bambú. Por razones de seguridad se tendría que suponer que la carga admisible para el calculo estático de estructuras está mucho más bajo que los índices materiales. Para una comparación indirecta se encuentra las cargas admisibles de madera.

A continuación se presenta un cuadro con los valores que rigen el proyecto (tabla 1).

Tabla 1: Resultados obtenidos a través de ensayos a distintos esfuerzos.

ENSAYOS	SIGMA	MODULO DE ELASTICIDAD
Compresión	18N/NN2	18.400 N/mm2
Tensión	4.18N/NN2	19.000N/mm2
Flexión	18N/mm2	17.900N/mm2
Cortante	Tau	1.1N/mm2 Sin cemento en el internado

### 3.3 Material sometido a deformación térmica

Si se calienta un objeto de bambú con una hornilla hasta 150° C, esta se torna más elástica (características termoplásticas) y guarda su nueva forma cuando se enfría.

En el ensayo realizado se logró comprobar que al someter el material a altas temperaturas sumergido en agua se observa la elasticidad pero la “Guadua Chacoensi “no logró ser curvada, según antecedentes comprobados otras especies si logran curvarse.

### 3.4 Rompimiento

El bambú demuestra una eficiente capacidad de carga a las fuerzas de compresión, en este material no ocurre un rompimiento sorpresivo de sus paredes por efecto de las sobrecargas de compresión. En las pruebas, es mas frecuente que ocurran fisuras por el efecto de corte. En las secciones del bambú que resisten altas cargas de las fuerzas de corte, se rellenan con concreto para su refuerzo aumentando la resistencia.

El rompimiento de la madera convencional se diferencia del rompimiento del bambú. Aquí no ocurre una ruptura espontánea por todo el tubo al rasgarse la fibra. Las grietas que se presentan se distribuyen inmediatamente en dirección de las fibras y no afectan al punto crítico. La corriente de energía es retardada por la dispersión. Las grietas longitudinales no pueden extenderse a todo su largo, debido a los nudos y diafragmas. Particularmente la firmeza a las cargas de presión, de corte y a las fisuras aumenta por los nudos. En la investigación con los materiales de compuesto moderno, no se intenta revenir la formación de grietas, pero sí impedir la extensión de grietas con el material apropiado (figura 5).



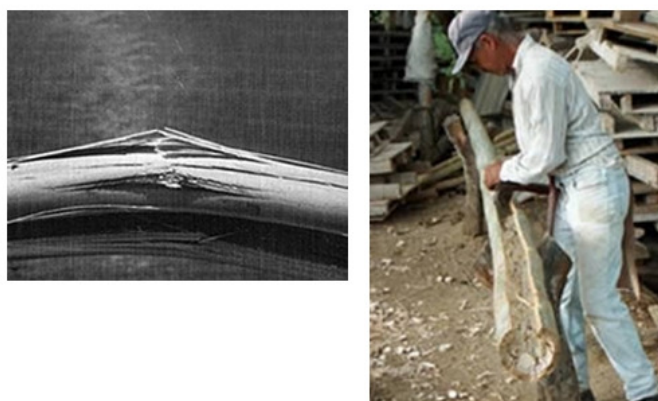


Figura 5: Pruebas del rompimiento de la madera del bambú

### 3.5 Comportamiento ante la combustión

En este ensayo se expuso el material al fuego en forma horizontal y se observa que se quema pero no a lo largo de toda la vara, el fuego luego de un tramo se apaga quedando carbonizado. Esta información se cotejó con resultados de ensayos realizados en otras investigaciones.

Debido al alto grado de ácido silícico de la corteza y a su alta densidad, se clasifica al bambú en DIN 4102 (norma industria alemana) como un material poco inflamable. La susceptibilidad al fuego depende en particular de las posiciones de las unidades en la construcción, las dispuestas en forma horizontal son menos susceptibles que unidades verticales o diagonales. Con un palo de bambú horizontal las llamas se extienden como anillo al nudo siguiente. Allí el fuego se apaga, ya que la llama no puede conseguir el nudo ni el diafragma al próximo entrenudo. Si el entrenudo estalla en grietas transversales o longitudinales, el oxígeno entrante contribuye con la combustión, con las grietas transversales se reduce la capacidad de carga. Si uno llena un palo de bambú con agua y se coloca fuego debajo de ella, esta puede llegar a hervir, debido a que el palo de guadua puede resistir temperaturas de 400°C.

### 3.6 Obtención de láminas

En Paraguay la utilización de láminas se observa en aplicaciones solo artesanales como entretejido para canastos. La resistencia que se manifiesta en las láminas garantiza la aplicación en otros productos para la construcción, en el ensayo se rajó el material en tiras y se prensó con ayuda de pegamentos que fueron cambiando para observar las diferentes reacciones. Se comprueba que el material responde a pegamentos de contacto, cola vinílica como la madera con la diferencia que el grado de humedad o bien la cantidad de agua que contiene el material no es compatible con la cola, se considera adecuada y muy resistente la utilización de resinas epoxi. En conclusión por el ajuste axial de la fibra en el tallo, esta se deja rajar rápidamente con una cuña. Se parte el tallo con un anillo de cuchillos en 8 -12 latas de 1-3 cm. Luego de un sistema de prensado las laminas se utilizan para la producción de vigas, listones, parquet, (figura 6).

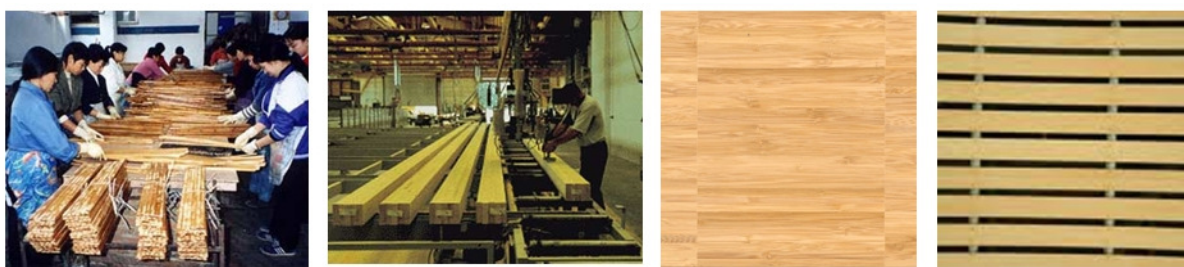


Figura 6: Aplicaciones industriales de la madera del bambú

#### 4 Aspectos medio ambientales

El balance medio ambiental del bambú como producto ecológico es sin duda positivo, ya que la manera en que crece y se tala es respetuosa con el medio ambiente. La planta madre genera cada año nuevos troncos que luego de 5 años puede cortarse sin que el tamaño de la población forestal disminuya, las podas habituales potencian el crecimiento del bambú, estos procedimientos hacen que los nuevos brotes crezcan más rápido y garantizan que la siguiente producción tenga una calidad perfecta. Una vez definidas las características del material y sus limitaciones se profundiza en el aspecto medio ambiental observando una marcada diferencia en ahorro de energía, cultivo y producción.

En la tabla 2 se coteja la eficiencia de la energía de producción del bambú comparado con otros materiales.

Tabla 2: Eficiencia energética del bambú

Material	Energía para la producción MJ/Kg	Densidad Kg/m3	Energía para la producción MJ/m3	Sigma KN/cm2	Relación de energía por unidad sigma
Acero	30,0	7800	234.000	1.600	150.000
Concreto	0,8	2400	1920	0.080	24.000
Madera	1,0	600	600	0,075	8.000
Bambú	0,5	600	300	0,100	3.000

##### 4.1 Cultivo y producción

Los árboles de bambú no necesitan replantarse después del corte. Resisten ciclones, inundaciones, sequía y plagas. Producen cuatro veces más oxígeno que la mayoría de las plantas y mejoran el proceso de fijación de nitrógeno en el suelo.

Cada planta puede cortarse por primera vez después de tres años de haber sido sembrada. El segundo corte se hace a los dos años del primero, con el propósito de que alcance el diámetro adecuado para estandarizar la producción por hectárea en 500 toneladas. Con abono y riego apropiados, el rendimiento aumenta hasta alcanzar las 620 toneladas.

Las condiciones geográficas ideales para el cultivo de esta variedad son la zonas del trópico que están al nivel del mar y hasta dos mil metros de altitud, donde se tiene precipitaciones pluviales de mil 200 milímetros al año.

El bambú se aclimata a todo tipo de suelos y terrenos, incluso en plantaciones en terrenos desgastados. Requiere pocos nutrientes y sus mayores rendimientos se obtienen en las zonas donde se cultiva caña de azúcar y hay agua, aunque también se puede sembrar en laderas para ayudar a detener la erosión del suelo.

Los guaduales (plantaciones de bambú) son comunidades dinámicas altamente especializadas de las cuencas hidrográficas, donde cumplen un papel importante en la dinámica del ecosistema que les permite perpetuarse. Son agentes protectores de los suelos y del agua en cualquier cuenca hidrográfica. Por su sistema radicular entretelado y la presencia de abundantes rizomas, la caña guadúa contribuye de manera efectiva a la conservación del suelo y a su recuperación, pues debajo de la tierra la planta forma un intrincado sistema de redes que amarran fuertemente las partículas de suelo, evitando la erosión, particularmente en los suelos de ladera. Como reguladora de la calidad y cantidad de agua, la guadúa ejerce control en sedimentos y forma muros que evitan la pérdida de los caudales de los ríos. Los guaduales ubicados en las riberas toman grandes cantidades de agua en las épocas lluviosas y la almacenan, tanto en su sistema radicular como en la parte aérea.

## **5 CONCLUSIÓN**

La explotación ilimitada de los recursos naturales de nuestro planeta es una de las mayores amenazas para la humanidad

Luego del estudio se pudo concluir que se cuenta con un material cuyo balance medio ambiental como producto ecológico es sin duda positivo, ya que la manera en que crece y se tala es respetuosa con el medio ambiente. Se consideró al bambú como una alternativa excelente que puede ayudar a resolver gran parte del problema medio ambiental.

El bambú con sus características mecánicas y técnicas es mucho mejor que la madera usado en construcción; pero solamente un uso y tratamiento adecuado, dejan venir esas ventajas al efecto. Por dicho motivo es necesario resaltar tratamientos que aporten aun más resistencia y respalden la viabilidad de dicho material.

A través de la investigación se pudo determinar la factibilidad de la introducción del bambú como material alternativo comparado con otros materiales, utilizando la tecnología de la madera, y dispositivos de corte y armado, especialmente diseñados, respetando las características y limitaciones de la especie existente en el país, con un aprovechamiento comprobado del 90% del material. Se observa un material dócil si bien es vulnerable al ataque por insectos y al fuego el material acepta tratamientos químicos que reducen las probabilidades.

Los ensayos aportan características que permiten clasificar vínculos para la construcción, producción de láminas para las múltiples aplicaciones en vigas, listones, etc. Considerando dichos antecedentes y en especial la “Estética” natural que brinda el material se observa en importantes diseños de estructuras y productos a nivel mundial con resultados innovadores, clasificándolo así como un material alternativo optimo para su utilización.

De esta manera el proyecto concluye en que el bambú esta en la naturaleza para ser utilizado de lo contrario su ciclo de vida muere y forma parte del suelo, no así la madera que tarda años en regenerarse y la deforestación contribuye con el recalentamiento terrestre. Por lo tanto se cuenta con un material para la construcción sin dañar al medio ambiente. Con un requerimiento menor de energía comparado con otros materiales y un notable ahorro de cultivo y producción por hectáreas permitiendo una mejor rentabilidad para su comercialización.

## **REFERENCIAS**

Lucy Amparo Bastidas y Edgar Flores B. Documento ‘Uso del Bambú en Viviendas para estratos medios. El Bambú como material estructural en losa de entrepiso’, página 33. Publicado en las Memorias ‘Seminario Guadua en la Reconstrucción’ Armenia Quindío. Febrero 10, 11 y 12 del 2000.

Ximena Londoño Pava. Documento ‘La Guadua: Un gigante dormido’ página: 4 y 5. Publicado en las Memorias ‘Seminario Guadua en la Reconstrucción’ Armenia Quindío. Febrero 10, 11 y 12 del 2000

Proyecto para el montaje de una planta Procesadora de Guadua para la elaboración de pisos, paneles y molduras en el Departamento del Quindío’. Documento de la Fundación para el Desarrollo del Quindío. Sección A: Situación actual del Recurso.

Curso de construcción sismo resistente de vivienda de cañas de bambú [Arquitectura.com.ar](http://Arquitectura.com.ar).

Construction with bamboo. Diplom-Ingenieur Christoph Tönges.[Conbam.info.com](http://Conbam.info.com)

## **AGRADECIMIENTOS**

Ingeniero Chirife Rodolfo. Departamento de Ciencia y tecnología .Universidad Católica de Asunción. Diseñadora Industrial: Bustos Marcela. Departamento de Ciencia y tecnología. Universidad Católica de Asunción.

Ingeniero Gith Tomas: Departamento de Ciencia y tecnología. Universidad Católica de Asunción.