

ENSAYOS DE IMPACTO SOBRE LA JATATA (*GEONOMA DEVERSA*)  
BAJO DIVERSOS TRATAMIENTOS FÍSICOS  
IMPACT TESTING ON THE "JATATA" (*GEONOMA DEVERSA*)  
UNDER EXPOSURE OF DIFFERENT PHYSICAL TREATMENTS

E. R. PALENQUE<sup>†</sup>, F. GHEZZI, & C. VARGAS

Instituto de Investigaciones Físicas  
Universidad Mayor de San Andrés  
La Paz - Bolivia

(Recibido octubre de 2010; aceptado febrero de 2011)

RESUMEN

La jatata (*Geonoma deversa*) es una palmera tropical con un larga historia de aprovechamiento tradicional para la elaboración de paños utilizados para techados de adorno, que son elaborados principalmente por el grupo étnico T'simane. Estos paños han sido introducidos y comercializados en el área urbana de las tres capitales principales de Bolivia, sufriendo un deterioro en la estructura misma de la hoja, principalmente en la ciudad de La Paz, lo que provoca una dramática disminución en su tiempo de vida, siendo las causas posibles de este daño las condiciones climáticas a las que fueron expuestas. En este trabajo se realizó un estudio de la fragilidad de las hojas de jatata bajo cambios térmicos, hídricos, y exposiciones a radiación UV. Se encontró que los ciclos diarios de humedad de La Paz (saturación a seco) causan los mayores daños a las hojas de jatata.

*Descriptor:* Radiación ultravioleta — efectos sobre sistemas biológicos — fibras naturales — ensayos de impacto

Código(s) PACS: 87.50.W., 81.05.Lg, 81.70.Bt

ABSTRACT

The Jatata (*Geonoma deversa*) is a tropical palm tree whose leaves have been traditionally used in roofing, particularly by the T'simane ethnic group in the lowlands of Bolivia. Jatata roofing panels have been introduced and marketed in Bolivia's three main cities - Santa Cruz, Cochabamba and La Paz. In La Paz a greater deterioration of the leaf structure is observed causing a dramatic decrease in roof lifetime. It is thought that climatic conditions are responsible for the degeneration of the roof panels. A study of the fragility of the jatata panels was carried exposing them to changes in temperature and humidity, and also to differing levels of ultraviolet radiation. We find that the most significant influencing factor are the daily moisture cycles at La Paz (from saturation to dryness) causing the most damage to the jatata leaves.

*Subject headings:* ultraviolet radiation — effects on biological systems — natural fibers — impact testing

1. INTRODUCCIÓN

La jatata (*Geonoma deversa*) es una palmera tropical que crece en regiones de la cuenca amazónica, asociada al pie de monte de los Andes orientales. Ecológicamente, se distribuye en tierras bajas, en diferentes tipos de bosques pluviales, ocupando el nivel del sotobosque libre de inundaciones, ya que requieren de suelos bien drenados. La jatata tiene un hábito arbustivo, con varios tallos y hojas trifoliadas. Se concentra en estratos de bosque con alturas entre los 2 y 4 metros, con poblaciones de gran densidad de individuos. En la figura 1 se puede apreciar la forma y estructura de la hoja de jatata. Si bien no se aprecia el perfil desde la base de las plantas, estos

estípites conforman un solo individuo de *Geonoma deversa*, siendo el de mayor talla que llega a los 3.1m de altura (Moraes & Paniagua 2006).

Se considera un producto forestal no maderable, con una larga historia de aprovechamiento tradicional; principalmente para el tejido de paños que se utilizan para el techado de viviendas de pueblos indígenas como los tsimane', mosetenes y tacana; viviendas de campesinos y habitantes del área rural, viviendas de ciudades intermedias como San Borja, y como producto de lujo para el techado de clubes restaurantes y sectores de viviendas en ciudades como Santa Cruz, Trinidad, Cochabamba, y La Paz. En la figura 2 se puede apreciar el trabajo final de un techado elaborado con hojas de jatata (Moraes & Paniagua 2006).

<sup>†</sup>Email: edyruy@umsa.bo



FIG. 1.— Detalle de la hoja de jatata (Foto: M. Moraes - HNB).

La recolección de jatata para la elaboración de los paños, se realiza por familias, pero sólo en la época seca, cuando no realizan otras actividades económicas, bajo condiciones climáticas estables. Los paños de jatata son láminas formadas por un tejido de hojas maduras, unidos a una varilla elaborado con el paño de chuchí (*Poaceae: Gynerrium sagittatum*), con el amarrado de las hojas a las varillas para lo que se utiliza la raíz de una liana epífita (*Cyclanthaceae: Thorocarpus bissectus*). La selección de individuos de jatata a ser podados, se realiza utilizando una serie de criterios como la recolección de hojas maduras de plantas que sobrepasan los 2 m de altura. El corte es de aproximadamente el 65% de los tallos presentes, evitando el corte de individuos de tallos muy doblados y hojas pequeñas, ya que éstos pueden cumplir la función de semilleros. A la fecha una hoja madura se considera cuando la hoja tuvo un crecimiento de 8 meses (Moraes 2010). Los paños de jatata son productos intensivos en mano de obra, con productos provenientes únicamente del bosque (Otterburg & Ergueta 2006).

Este sistema de techado no solamente tiene un gran valor estético sino que además es muy funcional y puede competir fácilmente con sistemas de amplia difusión como las calaminas de zinc, o las tejas cerámicas. Las experiencias actuales han demostrado que el uso tradicional de las jatatas como parte de techados mantiene un rendimiento de 3,5 a 5 años en el trópico sudamericano (Otterburg & Ergueta 2006), y que básicamente no dependen de las



FIG. 2.— Techo elaborado con jatata (Trinidad – Beni) (Foto: M. Moraes).

condiciones climáticas típicas del trópico.

Algunas experiencias piloto han demostrado que la durabilidad de un techado de jatata se reduce considerablemente en las condiciones ambientales de la ciudad de La Paz, y como primeras hipótesis se planteó que las causas de la reducción drástica (de 4 años a 6 meses) podrían estar relacionadas con ciertos factores ambientales, como:

- El excesivo nivel de radiación ultravioleta solar en La Paz respecto de las tierras bajas.
- La extrema variación térmica diaria en los valles andinos y el Altiplano.
- La diferencia de humedad relativa entre la zona tradicional de uso (los llanos amazónicos) y el valle de La Paz.

Para poder cuantificar y definir cuál de esos factores es el que tiene mayor influencia en la reducción de la durabilidad de los techados de jatata, se realizó un estudio experimental para definir cuál de las causas citadas es la que más afecta y daña la resistencia mecánica (ligada a la durabilidad) de los tejidos vegetales del tipo de las hojas de jatata.

## 2. ENSAYOS DE FRACTURA POR IMPACTO

De entre todas las variables que pueden describir el comportamiento mecánico de una plancha (por similitud con la geometría de las hojas de palmera) se eligió medir el valor del esfuerzo de rotura (MOR, por sus siglas en inglés: Modulus Of Rupture) como parámetro básico para comparación en este estudio de las propiedades representativas de las hojas de jatata. Las principales razones para esta elección fueron que el MOR es un parámetro físico relacionado con:

- Las propiedades elásticas (el Módulo de Young).
- La durabilidad de las muestras (el coeficiente de resiliencia).
- La dureza total (resistencia a los cortes).

- La fragilidad (resistencia a los impactos).

El sistema de laboratorio utilizado para los ensayos de impacto es comúnmente conocido como ensayo Charpy (Askeland et al. 1998; D. Callister et al. 1995). Durante el ensayo, la energía inicialmente potencial de la probeta del péndulo se transforma en cinética y luego en elástica al momento del impacto. Se determina el punto de ruptura de la muestra cuando ésta emplea la energía almacenada como elástica en separar partes de la propia muestra en vez de reimpulsar el retorno. El proceso también puede determinarse mediante las emisiones acústicas, ya que una porción de la energía almacenada durante la fase elástica se libera en forma de sonido en un tiempo muy breve, durante la fase de contacto de la muestra con el péndulo de impacto.

Entre las diversas clasificaciones utilizadas en ciencia de materiales, podemos encontrar dos tipos de fractura denominados como dúctiles y frágiles. La clasificación esta basada en la capacidad del material para experimentar y soportar deformación plástica. Los materiales dúctiles exhiben normalmente deformación plástica substancial con muy alta absorción de energía antes de la fractura. Por otro lado, en la rotura frágil normalmente se tiene poca o ninguna deformación plástica, lo que da como resultado una pequeña absorción de energía en el proceso de rotura. Se debe considerar que “dúctil” y “frágil” son términos relativos; si una fractura en particular es considerada de un tipo u otro depende de la situación general [5]. Experimentos previos bajo condiciones normales de laboratorio nos inducen a pensar que las muestras de hojas de jatata tienen un comportamiento de ruptura frágil.

Siguiendo el método estándar (International Standard Organization 2004) de la norma DIN EN 52 186 (1978) para medidas realizadas en muestras de madera, se puede calcular la fuerza de impacto proveniente del golpe del péndulo sobre la muestra como:

$$F = \frac{m}{t} \sqrt{2gl(1 - \cos(\alpha))} \quad (1)$$

donde:

- $F$  es la fuerza de impacto entre la muestra y el vástago fijo (en Newtons).
- $m$  es la masa del péndulo (en Kilogramos).
- $t$  es el tiempo de contacto durante el impacto (en segundos).
- $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9.78 \text{ m/s}^2$  en La Paz).
- $l$  es la longitud del brazo del péndulo (en metros).
- $\alpha$  es el ángulo de partida del péndulo (en radianes).

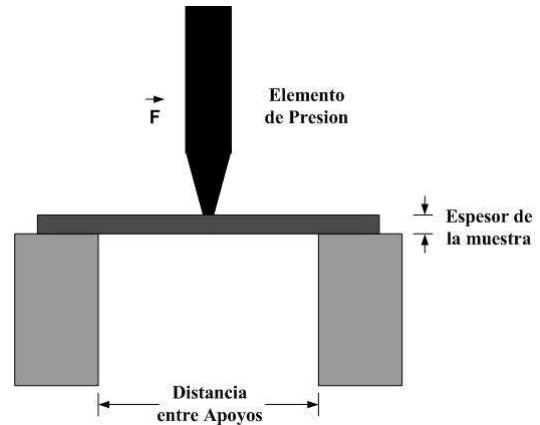


FIG. 3.— Esquema del equipo utilizado durante los ensayos.

Una vez conocida la fuerza del impacto, se puede calcular el valor del esfuerzo de rotura (o MOR) mediante una fórmula simple (H. Gonzales & Bedoya 2007).

$$\sigma_{ult} = \frac{3 FL_{apoyo}}{2 DE^2} \quad (2)$$

donde:

- $\sigma_{ult}$  es el esfuerzo de rotura en flexión (en MPa).
- $F$  es la máxima carga (de rotura) aplicada sobre la muestra, y que se calcula a partir del ángulo máximo de flexión del péndulo de impacto (en Newtons).
- $L_{apoyo}$  es la longitud entre apoyos de la muestra (en metros).
- $E$  es el espesor de la muestra (en metros).
- $D$  es el ancho de la muestra (en metros).

La figura 3 muestra el principio físico del experimento utilizado en laboratorio para las pruebas de flexión extrema hasta la ruptura por impacto.

### 3. RADIACIÓN ULTRA VIOLETA (RUV)

A la fecha se conoce que la radiación ultravioleta causa efectos nocivos sobre la vida. Generalmente se clasifica a la RUV por tres regiones del espectro electromagnético, las cuales están en función al efecto que provocan: UV-A (320 nm – 400 nm) es la responsable del bronceado de la piel, UV-B (280 nm – 320 nm) puede provocar daños en la piel, en la vista y el sistema inmunológico, UV-C (100 nm – 280 nm) es la banda más peligrosa para la vida, pero es totalmente absorbida por la estratósfera (Zaratti 2003).

Actualmente existen lámparas comerciales que simulan la emisión de radiación ultravioleta solar, que son utilizadas para el bronceado artificial de la piel. Los resultados más importantes de la caracterización de estas lámparas son: emiten radiación mayoritariamente en el rango UV-A y en menor porcentaje en el rango UV-B, la intensidad de la lámpara disminuye como función al inverso de la distancia, teniendo una intensidad prácticamente uniforme a

25 cm de los bordes de la lámpara, hasta una distancia de separación de 20 cm con respecto al eje de la lámpara (E. Juaniquina & Ticona en preparación).

#### 4. TRATAMIENTOS SOBRE LA JATATA

Se realizaron tres diferentes tratamientos a las hojas de jatata, que pueden ser responsables del deterioro de estas hojas que fueron expuestas al clima de La Paz.

##### 4.1. *Tratamiento de humedad*

Se sometió un conjunto de muestras a ciclos de variación de humedad, desde la saturación de las mismas hasta condiciones de secado; lo que representó una simulación de variaciones desde 95% a 15% HR características de los extremos del clima en La Paz (Segalines & Cabré 2000). Estas muestras (hojas enteras de jatata) fueron sometidas a una serie de ciclos hídricos. Estos ciclos consistieron en sumergir completamente las hojas en agua durante 30 minutos, para luego secar las muestras por evaporación natural, colocando las hojas en posición vertical sujetando sus tallos a una cuerda. Realizando un control de temperaturas con un sensor infrarrojo (Minitemp), con una resolución de  $0.1^{\circ}\text{C}$ , las temperaturas oscilaban entre  $14^{\circ}\text{C}$  hasta  $20^{\circ}\text{C}$  (del ambiente), y de  $13^{\circ}\text{C}$  hasta  $17^{\circ}\text{C}$  (del agua). Este tipo de tratamiento representa el ciclo extremo de humedad que puede tener una superficie expuesta a la intemperie en La Paz, con superficies mojadas por condensación durante la madrugada y sequedad alta a medida que transcurre el día. Se destaca el hecho que durante la madrugada, la condensación crea una capa líquida que puede durar hasta 4 horas, siendo uno de los tiempos de humectación de superficie más largos entre los reportados (Rocha 2000). Una peculiaridad observada en este tratamiento fue que las hojas tomaban un aspecto blanquecino a mayor cantidad de ciclos. Se continuará el estudio para obtener las reacciones químicas causadas por este tipo de tratamiento.

##### 4.2. *Tratamiento Térmico*

Se estudió el efecto de variación térmica extrema, sometiendo otro conjunto de muestras a repetidos ciclos de temperaturas, en una simulación más breve de las variaciones térmicas que soportarían las hojas a la intemperie. Dadas las condiciones típicas del clima de La Paz, las temperaturas elegidas para el ciclo fueron de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ ; que representan una amplitud térmica amplia pero característica de los valores obtenidos en muestras expuestas a la intemperie (Rocha 2000). Las muestras analizadas (hojas enteras de jatata), fueron introducidas a un congelador, alcanzando el punto de congelación del agua, una vez alcanzada esta temperatura las muestras quedaban expuestas al ambiente para alcanzar la temperatura media del laboratorio ( $\sim 15^{\circ}\text{C}$ ) en una cantidad creciente de ciclos. Las muestras fueron aisladas del ambiente con una bolsa plástica autosellante, para evitar la humectación de las hojas que

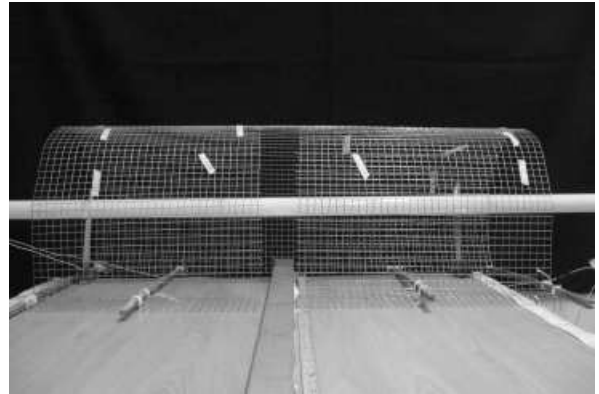


FIG. 4.— Sistema empleado para irradiar las hojas de jatata.

se daría al condensar la humedad del aire sobre superficies frías. Las temperaturas iniciales y finales de los ciclos fueron controlados con el mencionado sensor infrarrojo. El rango de temperaturas elegido es el típico al cual las hojas se encontrarían expuestas durante el invierno en la ciudad de La Paz, con mínimas cerca de las heladas, y máximas después del medio día. Durante el verano, ambos extremos se incrementan en cinco grados. Un efecto peculiar de este tratamiento fue que las hojas empezaron a curvarse alrededor de la nervadura central, tendiendo a formar cilindros.

##### 4.3. *Tratamiento por Irradiación*

Finalmente, se sometió a un tercer conjunto de muestras a una exposición continua de radiación ultravioleta. Para realizar este tratamiento por radiación se construyó el dispositivo mostrado en la figura 4. Tal como se puede apreciar en la figura, la radiación ultravioleta proviene de una lámpara especial de tipo fluorescente (WOLF System Velocity VCL 59) que irradia en los rangos de UVA y UVB. Alrededor de la lámpara se armó un semicilindro con alambre tejido en forma cuadrangular, con las siguientes características: el área de los cuadros de la rejilla es  $\sim 1,36\text{ cm}^2$ , el grosor del alambre es  $\sim 1.14\text{ mm}$ , y el diámetro del semicilindro es de 30 cm. Las muestras (hojas enteras de jatata) fueron colocadas sobre las rejillas del semicilindro, quedando siendo expuestas a tiempos progresivos hasta las 288 horas continuas.

La dosis emitida por la lámpara se midió con un dosímetro (Gigahertz Optik X1-1), el cual contiene dos foto-detectores para medir la dosis emitida para el rango UV-A y UV-B específicamente, a una distancia dada de la fuente de iluminación. Las medidas se realizaron a partir de los 5 cm hasta alcanzar los 150 cm, sobre la línea base del plano mediatriz de la lámpara, realizando las medidas a cada 5 cm de distancia. La figura 5 muestra: (a) el espectro característico de la lámpara, y la dosis recibida en función a la distancia (b) para el rango UV-A, (c) y para el rango UV-B.

También se realizó la medición del espectro de la lámpara, a una distancia fija de 15 cm, con un mini-espectrofotómetro (ORIEL PRODUCT LINE M-78345), de 0.5 nm de resolución, con un rango que

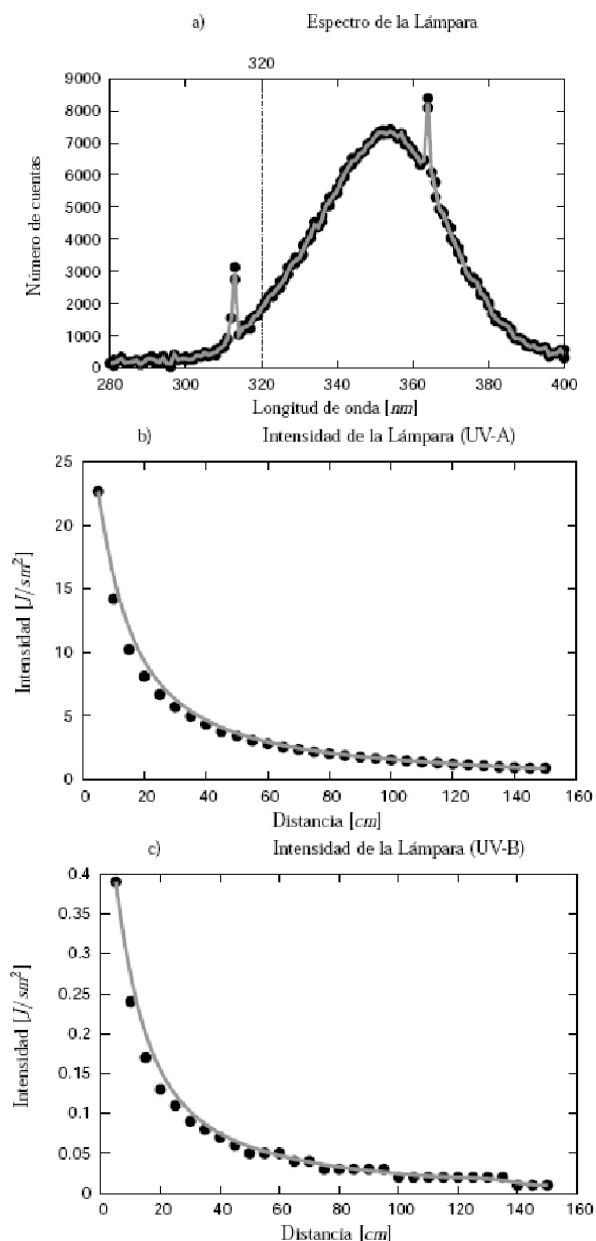


FIG. 5.— (a) el espectro de emisión de la lámpara, y el cambio en la intensidad de la lámpara en función a la distancia, (b) espectro de emisión en la región UV-A, (c) espectro de emisión en la región UV-B.

va desde los 200 nm hasta los 800 nm. Toda esta caracterización de la lámpara fue realizada para comprobar la longitud de onda para la cual irradia la lámpara y la dosis que emite la lámpara para realizar el cálculo correspondiente en comparación al Sol.

Las muestras (hojas enteras de jatata) fueron dispuestas sobre la red metálica (véase la Figura 4), siendo expuestas por 14 días continuos. Se realizó también un control de la temperatura superficial de las hojas con el sensor mencionado anteriormente, donde las hojas alcanzaron una temperatura de 22° C sobre la cara expuesta de la hoja y 20° C sobre la otra cara, manteniéndose constante durante todo el periodo de exposición, lo cual es coherente

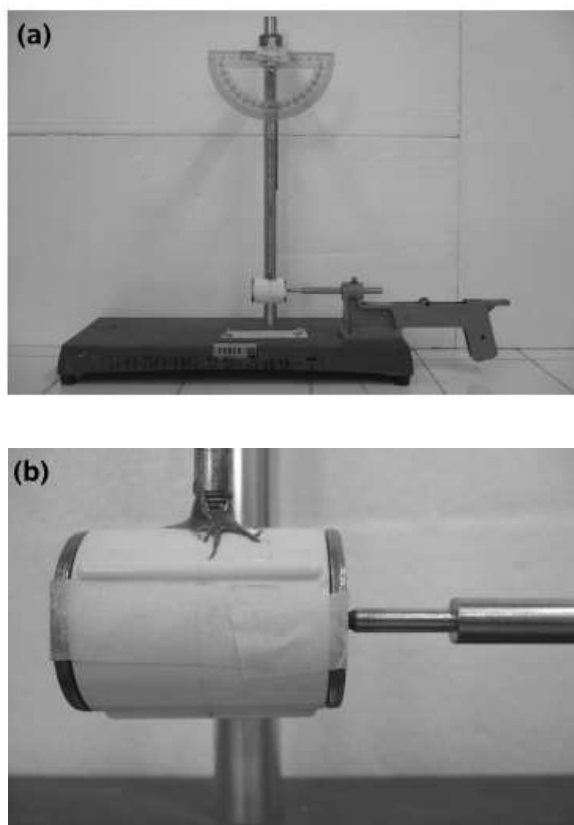


FIG. 6.— Se muestra la fotografía de: (a) El dispositivo para los ensayos de impacto. (b) El detalle del cabezal.

con el sistema de exposición natural, a temperaturas ambientales con poca variación. Además, permite descartar efectos de degradación causados por exceso de calor sobre las superficies, o la interior de las hojas. Se notó que durante este periodo de exposición las hojas empezaron a tornarse de color rojo, perdiendo su verde característico. Se analizará los cambios químicos que conducen a esa variación cromática de las hojas.

## 5. EL PÉNDULO IMPACTADOR

### 5.1. Construcción del Equipo de Impacto

El dispositivo experimental utilizado fue una variación del péndulo de Charpy, para ensayos de impacto. El dispositivo consta de:

- Un cabezal (cilindro plástico con arandelas) con una masa de 43,4 g.
- Un penetrador con una superficie de impacto igual a 0.16mm<sup>2</sup>.
- Un transportador que se ajustó al eje de rotación.

En la figura 6 (a) se puede apreciar el péndulo impactador que se utilizó para realizar las mediciones, y en la parte (b) el detalle del cabezal.

### 5.2. Calibración del Equipo de Impacto

Se calibró al impactador con muestras estándar que tiene ruptura dúctil (láminas de aluminio) y frágil (láminas de vidrio) con espesores similares a las muestras de las hojas de jatata. Las muestras de aluminio fueron obtenidas de una lámina comercial de aluminio de 0.02 mm de espesor, cortando de la misma muestras de 20.30 mm de longitud y de 5.50 mm de ancho. El análisis de ruptura se realizó con el siguiente procedimiento: La primera muestra fue fijada a la arandela con adhesivo, para ser impactada hasta la ruptura registrando el ángulo desde el cual el péndulo era soltado. Para las siguientes muestras se tomó como ángulo inicial el encontrado en la primera muestra, realizando pequeños incrementos en el ángulo de impacto hasta encontrar el ángulo al que la muestra presentaba la mínima ruptura al primer impacto. Aplicando las fórmulas de la sección 2, se encontró el valor del módulo de ruptura para el aluminio, obteniendo:

$$MOR_{aluminio} = 4096 \pm 96 [MPa]$$

donde la incertidumbre proviene de la desviación estándar.

Las muestras de vidrio fueron cubre objetos SCHOOT para microscopios. Las muestras fueron cortadas con filo de diamante, para obtener las siguientes dimensiones: longitud de 18.10mm, ancho de 6.00mm, y espesor de 0.14mm, en promedio. Las pruebas de ruptura para este material se realizaron siguiendo el mismo procedimiento que para las láminas de aluminio. Aplicando las fórmulas de la sección 2, se encontró el valor del módulo de ruptura para el vidrio, obteniendo un valor igual a:

$$MOR_{vidrio} = 33.2 \pm 0.1 [MPa]$$

el tiempo empleado para el cálculo de los resultados anteriores es sólo un valor aproximado, tomado igual a una centésima de segundo, calculado a partir de un chasquido emitido al momento de ruptura que es propio de cada material. Puesto que el análisis de este trabajo se centra en el cambio que sufre la resistencia mecánica de las hojas de jatata, sólo se consideran valores relativos del valor de MOR obtenido para muestras con tratamiento entre el valor de MOR obtenido para muestras sin tratar, donde la ecuación que se utilizará es:

$$\frac{MOR_{muestra}}{MOR_{base}} = \frac{L_{muestra} D_{base} E_{base}^2}{L_{base} D_{muestra} E_{muestra}^2} \times \sqrt{\frac{1 - \cos(\alpha_{muestra})}{1 - \cos(\alpha_{base})}} \quad (3)$$

donde el resultado es una cantidad sin unidades que no depende de la masa del péndulo, ni de la longitud del mismo, ni de la aceleración gravitacional, y suponiendo que el tiempo no presenta una variación substancial para muestras de jatata con tratamientos y sin tratamientos. Con lo cual se fijan los parámetros de calibración del equipo.

### 5.3. Ensayos de Ruptura sobre la Jatata

El estudio sobre las hojas de jatata comenzó con la selección de una cantidad adecuada de éstas. La selección solamente se basó en el aspecto macroscópico que presentan las hojas, descartando aquellas que presentaban hongos (que debilitaron la estructura), o que presentaban alguna quebradura o doblez, y las que presentaban manchas o polvo; ya que estos factores pueden modificar substancialmente los resultados sobre el módulo de ruptura. Entonces, se tomó en cuenta sólo las hojas más frescas, caracterizándose por tener un tono de color verde oscuro.

Un aspecto importante que es necesario destacar es que la jatata, como todas las plantas de hojas largas presentan en sus hojas dos tipos de tejido fácilmente diferenciados: uno correspondiente a las nervaduras de la hoja (que determinan la forma y rigidez de la misma) y uno de "relleno" entre nervaduras, conocido como limbo, que sirve para la captación de radiación utilizada para el proceso de fotosíntesis. Un análisis rápido determinó que el parámetro que se busca medir (el MOR) es mucho más alto en las nervaduras que en la hoja misma. Además, considerando que las nervaduras son prácticamente cilindros con un diámetro del doble o triple que el grueso del material de las hojas, es lógico suponer que, como lo demuestran los experimentos, el MOR de las nervaduras es mucho más alto que el MOR de las hojas. Como el presente estudio trata de averiguar la resistencia mecánica del material en su conjunto, en el caso de los parámetros de ruptura, siempre se debe considerar el más débil, que en este caso particular resulta ser el material de las hojas. Por tanto, se dejó de lado el estudio de la resistencia de las nervaduras, el cual será realizado en un trabajo posterior.

Las muestras analizadas con el equipo impactador fueron tomadas teniendo en cuenta una simetría en la separación entre las nervaduras para una longitud de  $\sim 30mm$ , sobre toda la superficie de la hoja sin tomar en cuenta los bordes en las hojas. Los cortes en las hojas fueron realizados con un bisturí (al igual que en el aluminio). Las dimensiones de las muestras de jatata fueron, en promedio: longitud de 30 mm, ancho de 3 mm, y espesor de 0,1 mm.

## 6. RESULTADOS

El estudio de ensayos de impacto comenzó realizando una serie de mediciones del ángulo de ruptura, para hojas sin ningún tipo de tratamiento, para establecer una línea base, a partir de 30 muestras tomadas al azar de 10 diferentes hojas de jatata, que fueron entregadas al Instituto de Investigaciones Físicas (IIF) por la Fundación para el Desarrollo Tecnológico, Agropecuario y Forestal TROPICO. Se continuó midiendo el MOR para hojas de cada uno de los tratamientos, siguiendo el mismo procedimiento realizado para las muestras de aluminio y vidrio.

Una vez culminado el proceso de medición del módulo de ruptura, se encuentra que el valor para el módulo de ruptura para las hojas de jatata sin

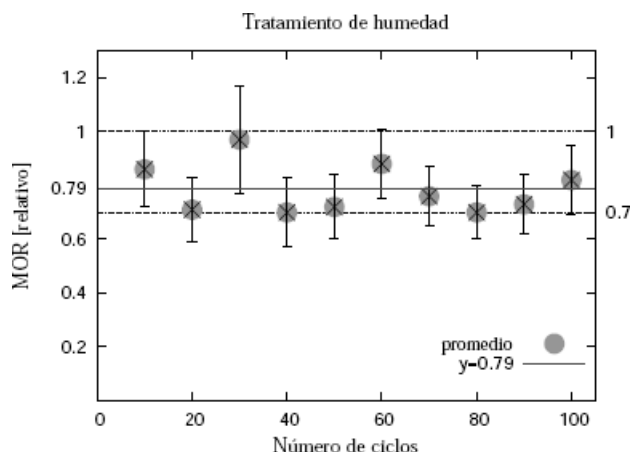


FIG. 7.— Módulo de ruptura (MOR) relativo en función al número de ciclos de tratamiento hídrico.

ningún tratamiento es de  $223.2 \pm 23.6 [MPa]$ , valor que se considera como la referencia o línea base de los cálculos posteriores. Los resultados obtenidos para las hojas que recibieron tratamientos, expresados en términos de la línea base, se detallan a continuación:

### 6.1. Tratamiento de humedad

En la Figura 7 se puede apreciar el comportamiento que se obtuvo del módulo de ruptura en función del número de ciclos. Como se puede apreciar en la gráfica, el comportamiento bajo tratamientos de humedad es aproximadamente constante. Se puede observar que el módulo de ruptura ha disminuido hasta un mínimo de 30% aproximadamente. El valor constante de la razón  $MOR_{muestra}/MOR_{base}$  esta alrededor de 0.79. Las variaciones que se observan en la gráfica pueden deberse de la forma en la cual las hojas de jatata absorben el agua, donde las células que conforman la jatata pueden retener agua en algunos ciclos, hinchándose provocando un mayor esfuerzo de ruptura, y también en la adsorción del agua, donde las resinas de la hoja pueden acumular gotas de agua en la superficie de la hoja incrementando el esfuerzo de rotura. Nótese que todo este análisis es a nivel microscópico y deberá ser corroborado con pruebas histológicas.

### 6.2. Tratamiento Térmico

En la figura 8 se puede apreciar el comportamiento del módulo de ruptura para hojas tratadas con ciclos en cambios de temperatura. Como se puede apreciar en la gráfica, existen dos regiones para el análisis: la primera región que comprende desde el ciclo número 10 hasta el ciclo número 70, en el cual se ve claramente que existe una disminución del módulo de ruptura, disminuyendo desde el 20% hasta alcanzar una disminución del 50% con respecto a la línea base, o sea, respecto de las muestras sin tratamiento alguno. Una de las posibles causas de esta disminución en el módulo de ruptura puede deberse a una fractura de las células que conforman las hojas de jatata cuando la temperatura alcanza la temperatura de congelación del agua, ya que las células contienen

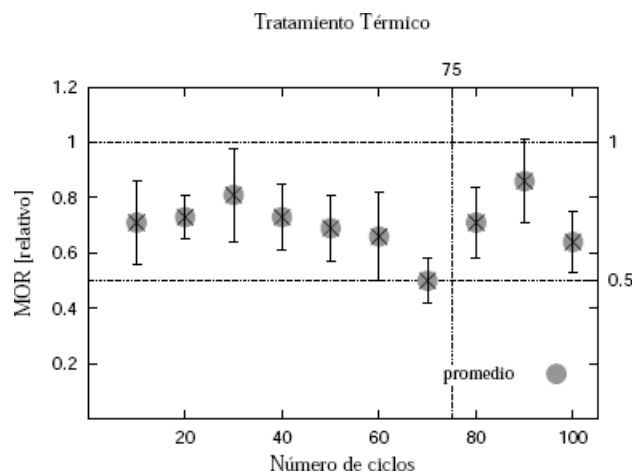


FIG. 8.— Módulo de ruptura (MOR) relativo en función al número de ciclos de tratamiento térmico.

agua, provocando un cambio en las propiedades de la hoja, de dúctil a frágil. Para la segunda región que comprende desde el ciclo número 80 hasta el ciclo número 100, existe un cambio en el comportamiento, y con sólo tres puntos, no se puede asignar una ecuación única a la tendencia que pareciera ser de tipo cuadrática.

### 6.3. Tratamiento por Irradiación

En la figura 9, se puede apreciar el comportamiento que sigue el módulo de ruptura (relativo) para hojas expuestas a radiación ultravioleta. En este caso, la exposición de las muestras se realizó en forma continua, y se calculó la dosis diaria equivalente, por lo que los días que aparecen en el eje del gráfico, son en realidad dosis de RUV equivalentes a la recibida en un día promedio por una hoja expuesta a la luz solar, que en las condiciones del laboratorio dan 16 horas de exposición a la lámpara. Como se puede observar en la figura 9, al igual que en el tratamiento térmico, existen dos regiones marcadas para el análisis: la primera región que va desde el día 1 hasta el día 8, existe una tendencia a incrementar el modulo de ruptura. Esta tendencia comienza con una disminución del 30% del módulo de ruptura llegando a incrementarse hasta un 10% por encima del valor de la línea base. Este comportamiento podría ser explicado por la reacción de ciertos compuestos incrementando la capacidad de resistencia a los impactos, hipótesis que deberá también ser corroborada con estudios posteriores.

La segunda región que va desde el día 9 hasta el día 18, presenta una tendencia constante en 0.73, con la excepción del día 16.5 de exposición, que presenta un pico, el cual muestra un incremento del 26% por encima del módulo de ruptura de la línea base. Una causa posible de este comportamiento, siguiendo la explicación anterior, es que el daño provocado por la radiación ultravioleta ha terminado de descomponer los sistemas moleculares, manteniendo aproximadamente constante el módulo de ruptura. El evento extremo que sale de nuestro comportamiento aproximadamente constante puede ser únicamente explicado por una mala elección de las

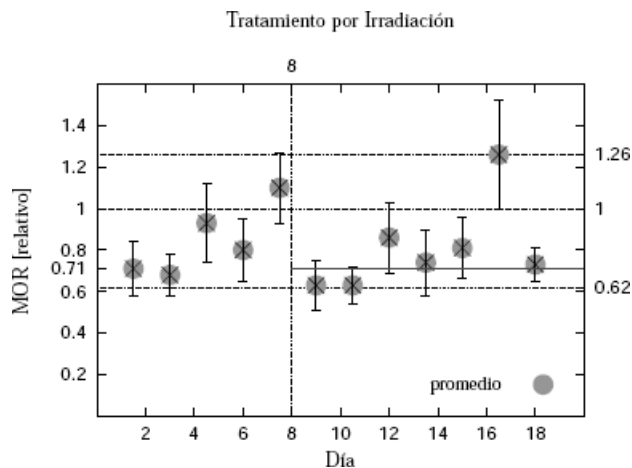


FIG. 9.— Módulo de ruptura (MOR) relativo en función al número de ciclos de tratamiento térmico.

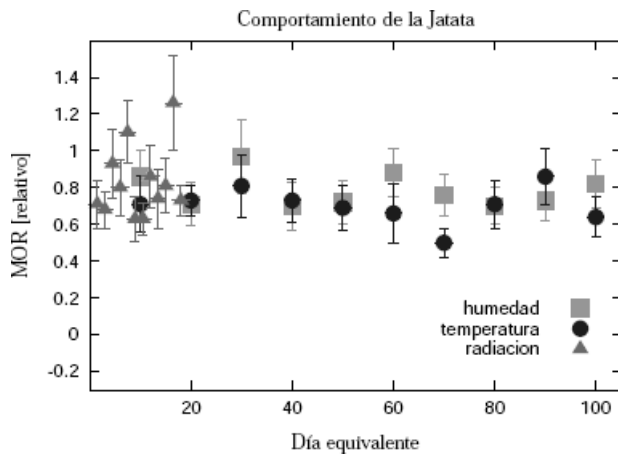


FIG. 10.— Módulo de ruptura (MOR) relativo de las hojas de jatata, en función al número de ciclos o días equivalentes, para los tres tratamientos analizados.

muestras, que son representativas del conjunto.

## 7. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un dispositivo para medir el módulo de ruptura para materiales de tipo laminar, basados en los ensayos Charpy. La funcionalidad de este dispositivo ha sido comprobada realizando pruebas para materiales con densidad uniforme, obteniendo buenos resultados, con errores muy pequeños para la desviación estándar. Las hojas de jatata muestran un deterioro en sus propiedades mecánicas

ante cambios de temperatura, y humedad del ambiente, y también por la sobreexposición a la radiación ultravioleta. Aunque a primera vista parece que los cambios cíclicos en la temperatura pueden llegar a deteriorar en mayor proporción que los cambios en la humedad, un análisis de comparación entre las medias ponderadas demuestra que la diferencia no es estadísticamente significativa. En cambio si lo es la diferencia entre el tratamiento de cambio en la humedad respecto del de la exposición a mayores dosis de radiación ultravioleta.

En la figura 10 podemos apreciar los cambios producidos en las hojas de jatata para los tres tratamientos efectuados como función a los días equivalentes (1 ciclo = 16h de exposición con lámpara = 1 día equivalente). Donde se evidencia claramente la variabilidad en los resultados obtenidos para la jatata, estos comportamientos pueden deberse únicamente a la textura que conforma cada una de las hojas de jatata.

En futuros trabajos deberá analizarse la estructura misma de las hojas de jatata, con estudios histológicos y moleculares. Esto nos ayudará a cuantificar las propiedades internas y externas de la jatata a nivel microscópico, y así mismo los cambios que sufre bajo los tratamientos analizados.

Debido a la versatilidad y fácil manejo se espera que este método se pueda aplicar a otras plantas y a otros productos derivados como las fibras o “composites”. Se hace énfasis que existe un gran vacío de información sobre las propiedades físicas (incluyendo las mecánicas) de los vegetales del neotrópico sudamericano.

Los estudios sobre el módulo de ruptura son importantes porque la fractura es el principal parámetro de descarte de hojas en los paños, y deberán ser complementados con estudios sobre elasticidad, y las variaciones en la composición química.

## AGRADECIMIENTOS

A Jimena Molina y la Fundación TROPICO por proporcionarnos los paños de jatata e incentivar la investigación.

A Mónica Moraes, del Herbario Nacional de Bolivia, por las fotos cedidas y explicaciones sobre las Jatatas.

Al árbitro anónimo que colaboró con las sugerencias para mejorar el análisis estadístico.

## REFERENCIAS

- Askeland, R. et al. 1998, Ciencia e Ingeniería de los materiales, Vol. 3: Ensayos y propiedades mecánicas (Ed. Thomson, México)
- D. Callister, J. et al. 1995, Ciencia e Ingeniería de los materiales, Vol. 1: Propiedades mecánicas de los metales y Rotura (Ed. Reverte, Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, México)
- E. Juaniquina, F. Velarde, F. G. F. Z. & Ticona, A. en preparación
- H. Gonzales, J. A. M. & Bedoya, J. 2007, Resultados del ensayo a flexión en muestras de bambú de la especie guadua angustifolia. Kunth. Scientia et Technica, Ao XIII, No 35 (Universidad Tecnológica de Pereyra)
- International Standard Organization. 2004, (E) - Bamboo - Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements (International Standard Organization, 22, 157-1)
- Moraes, M. 2010, comunicación privada, Mayo
- Moraes, M. & Paniagua, N. 2006, Biología y ecología de la jatata (*Geonoma deversa*), en JATATA: un recurso valioso para los habitantes del bosque tropical - P. Ergueta, M. Otterbug, S. Estenssoro (La Paz)
- Otterbug, M. & Ergueta, P. 2006, La jatata de los Tsimane's siempre vivir en el bosque, en JATATA: un recurso valioso para los habitantes del bosque tropical P. Ergueta, M. Otterbug, S. Estenssoro (La Paz)
- Rocha, J. 2000, Efecto de la altitud sobre las estimaciones de corrosividad atmosférica, V Congreso de Metalurgia y Ciencia de los Materiales (La Paz)



- Segalines, C. & Cabré, R. 2000, Datos Meteorológicos del Observatorio San Calixto (La Paz)
- Zaratti, F. 2003, La radiación ultravioleta solar, en: La radiación ultravioleta en Bolivia. F. Zaratti, R. Forno (La Paz)