

# Degradación de la guadua bajo los efectos medioambientales

## *Guadua degradation under environmental effects*

Olga Lucía Vanegas Alfonso<sup>1</sup>, Flor Nancy Díaz Piraquive<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Gestión del Riesgo y Desarrollo, Docente investigativa, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, olvanegas@ucatolica.edu.co

<sup>2</sup> Doctorado en información, Docente investigativa, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, fndiaz@ucatolica.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN:30/10/2019

FECHA DE ACEPTACIÓN:21/09/2020

### RESUMEN

Uno de los efectos de la radiación ultravioleta en las plantas es que interfiere en los procesos químicos (ADN), biológicos, anatómicos, morfológicos, entre otros. Las plantas más expuestas son las que se encuentran en la alta montaña, esto debido a varios factores como la degradación de la capa de ozono, la cual es la responsable de absorber las diferentes radiaciones que penetran a la tierra.

Se ha demostrado que, cuando la guadua presenta una variación significativa en su porcentaje de humedad, esto influye directamente en sus propiedades de resistencia mecánica; además factores biológicos pueden degradar su estructura interna; pero muy poco se ha estudiado los efectos de la radiación UV-B en la guadua.

### PALABRAS CLAVE

Radiación, ultravioleta, guadua, morfología, exposición

### ABSTRACT

One of the effects of ultraviolet radiation on plants is that it interferes with chemical (DNA), biological, anatomical, morphological processes, among others. The most exposed plants are those found in the high mountains, due to several factors such as the degradation of the ozone layer, which is responsible for absorbing the different radiations that penetrate the earth.

It has been shown that when guadua shows a significant variation in its percentage of humidity, this directly influences its mechanical resistance

properties; In addition, biological factors can degrade its internal structure; but the effects of UV-B radiation on guadua have been studied very little.

### KEYWORDS

Radiation, ultraviolet, guadua, morphology, exposure

### INTRODUCCIÓN

En las investigaciones realizadas para el manejo de la guadua en diferentes ámbitos, principalmente en las El mundo en el que vivimos siempre se ha visto abocado a cambios, unos provocados por el hombre y otros por la naturaleza, han sido cambios que han afectado la forma de vida en el planeta y como nos relacionamos entre nosotros y el medio que nos rodea. En consideración a lo anterior, el presente trabajo de investigación pretende analizar como la radiación solar ultravioleta, entendida esta como un conjunto de radiaciones electromagnética, ha influido en los seres vivos, especialmente las plantas.

Gracias a la energía que proviene del espacio ha sido posible la vida como la conocemos, ha influido de manera significativa en el desarrollo de los seres vivos (animales y plantas), unos de forma favorable, otros no tanto. Las plantas que reciben grandes cantidades de luz hace posible el proceso de fotosíntesis, y son de tamaño mucho más grandes, de hecho, las plantas compiten entre sí para obtener mayor cantidad de luz, pues aquellas que reciben menos cantidad no crecen tanto, a su vez las plantas, dentro del proceso de selección natural, han evolucionado a tal punto que las hojas son más

grandes con el fin de captar mucha más luz [1].

Un efecto benéfico de la luz en las plantas es aquel mediante el cual, ellas toman el dióxido de carbono del aire, más el agua que absorben son los ingredientes principales para que un catalizador, que es la luz proveniente del sol, haga posible el proceso de fotosíntesis que básicamente consiste en producir azúcar o alimento y oxígeno O<sub>2</sub> como material de desecho. Este proceso ha beneficiado al hombre, pues no solo puede obtener el alimento producido, sino que también ha usado algunas plantas del reino vegetal para fines distintos a la nutrición, como por ejemplo la construcción, la fabricación de medicamentos, bebidas, etc.

En la presente investigación se estudió el efecto de la radiación ultravioleta UV-B en las plantas y en especial la Guadua, debido a que el bambú –o guadua, como es conocido en Colombia- tiene un sin número de aplicaciones en la industria de construcción y al estar expuesta a factores del medio ambiente –como la radiación– tendrían el potencial de generar daños en la estructura tanto interna como externa de la guadua que podría disminuir sus propiedades de resistencia mecánica.

Reafirmando la importancia de la guadua, el estudio de los efectos de la radiación UV-B toma importancia, más aún si, en la fabricación de mobiliario para el hogar como puertas, muebles, ventanas, techos, etc.; y en el área de la construcción como, en la edificación de iglesias, puentes colgantes, cabañas y demás estructuras; se puedan determinar los efectos negativos y consecuentemente ser mitigados.

Para llevar a cabo el estudio se revisó la literatura científica relacionada, se analizó los ensayos realizados por diferentes investigadores del tema, a fin de presentar los efectos más frecuentes, ya sea cambios morfológicos, cambios químicos (ADN), cambios físicos, en el crecimiento, entre otros.

Finalmente se establecieron que cambios podrían afectar la resistencia mecánica que brinda la guadua como material de obra. Poder obtener y caracterizar el tipo de daño generado podría servir para que

futuras investigaciones se centraran en estudiar las alternativas de inmunización y así poder posicionar la guadua como un material que además de ser sustentable tendría mucha más viabilidad técnica en su empleo en obras de construcción.

## MÉTODOLÓGÍA

### Tipo de estudio

El estudio sobre los efectos de la radiación ultravioleta en las plantas y en especial la guadua, es un estudio de carácter teórico en el cual, a partir de información secundaria (revistas, artículos, entre otros) se recopilarán las diversas investigaciones asociadas al tema de estudio. Es un proyecto institucional (UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA) perteneciente a línea de investigación GESTIÓN INTEGRAL Y DINÁMICA DE LAS ORGANIZACIONES EMPRESARIALES, MATERIALES & MATERIALES PARA ESTRUCTURAS.

### Fuentes de Información

La fuente de información con la que se ha estructurado el presente trabajo de investigación corresponde mayormente a trabajos de grados y artículos científicos publicados en revistas, la mayoría propias de las bases de datos de la biblioteca de la Universidad Católica de Colombia. Entre las fuentes de información se resaltan:

- **Science Direct.** Base de datos científica con más de 250,000 artículos en acceso abierto. Artículos que son revisados por pares
- **Tesis de grado.** Trabajos de investigación relacionados con la radiación ultravioleta en las plantas, resistencia mecánica de la guadua, entre otras.
- **ResearchGate.** Es una red social en Internet y una herramienta de colaboración dirigida a personas que hacen ciencia de cualquier disciplina.

- **Proquest.** Compañía editorial con sede en Ann Arbor, Michigan, que publica en formatos electrónicos y microfilm y suministra servicios de información para universidades, escuelas, empresas, entre otros.

## Desarrollo metodológico

Para el desarrollo de la investigación se tomó como referencia las diversas teorías alrededor del efecto de la radiación UV-B en las plantas, para ello se realizó búsqueda en las principales bases de datos, como los trabajos de grados encontrados en diversos portales de internet.

Para llevar a cabo el estudio se realizó un análisis de las diferentes investigaciones realizadas en el tema de estudio, inicialmente se estudió la composición de la radiación ultravioleta, como es el proceso de ingreso y absorción por la atmósfera terrestre, seguidamente se estudió el efecto de la radiación UV-B en las plantas, se realizó una investigación de la guadua misma analizando su composición y estructura, para posteriormente investigar sobre el efecto de la UV-B.

## Efectos de la radiación en la guadua

La luz solar es la fuente principal de energía para la biosfera y gracias a ella es posible la vida en la tierra, tanto animal como vegetal. De acuerdo con Rivas [2]. La radiación proveniente del sol abarca un área amplia del espectro Electromagnético, y dentro de esta (aproximadamente el 40%) una parte es la radiación luminosa, llamada luz.

Para que la radiación UV-B sea interceptada y produzca alteraciones en la fisiología de la planta debe penetrar en la hoja y ser absorbida por cromóforos (\*) o moléculas susceptibles al efecto dañino de esta radiación. Por lo tanto, los cambios morfológicos y anatómicos que son inducidos por la radiación UV-B pueden llegar a ser determinantes en las respuestas de las distintas especies vegetales sometidas a un aumento de este tipo de radiación. Así, frente a un aumento de la radiación UV-B muchos de los cambios observados, tanto en plantas

monocotiledóneas (\*\*) como dicotiledóneas (\*\*\*), son principalmente atribuidos a la orientación de las hojas que tiene cada uno de estos grupos de plantas, lo que finalmente influirá en la capacidad de interceptar este tipo de radiación.

Las especies monocotiledóneas que presentan hojas delgadas con orientación vertical interceptan menos la radiación UV-B que las dicotiledóneas por presentar éstas hojas anchas y de orientación más bien horizontal, y por lo tanto son más susceptibles al daño. Por tal motivo, las plantas monocotiledóneas parecen ser generalmente más tolerantes a niveles elevados de radiación UV-B.

Por otra parte, las plantas aclimatadas a condiciones de alta radiación UV-B, como por ejemplo en alta montaña, se caracterizan principalmente por presentar tallos y ramas cortas, resultando plantas de morfología más bien compacta y de tamaño pequeño. La disminución de la altura de las plantas expuestas a altas intensidades de radiación UV-B ha sido relacionada directamente con la inducción de internudos más cortos en distintas especies. Por tal motivo, se ha sugerido que el mecanismo por el cual la radiación UV-B reduce la longitud del tallo sería la oxidación de fitohormonas inductoras del tamaño de las células, como el ácido indolacético (IAA), el cual es susceptible a ser degradado por la radiación UV-B.

Un estudio realizado por Blumthaler [3] y Ambach en 1990 y publicado en la revista científica Science según la cual manifiestan que ha habido un ligero aumento de alrededor del 1 por ciento (1%) anual en el flujo de la radiación solar ultravioleta B desde 1981, lo que sugieren que este aumento puede estar asociado con un agotamiento del ozono a largo plazo.

Un aumento de la radiación UV-B estará estrechamente relacionada con la capacidad de la atmósfera terrestre de absorber dicha radiación, es por ello que, si se debilita la capa de ozono, mayor serán la radiación que incida sobre la materia viva (plantas y animales). Como se ha indicado, la radiación a medida que ingresa a la tierra y se acerca

a la corteza terrestre pierde energía y gran parte de la radiación peligrosa es absorbida, por tanto, es de esperarse que en lugares de alta montaña y las ciudades de gran altitud presenten mayores riesgos al estar más expuestos a dicha radiación.

Si bien la radiación UV-B comprende una pequeña región del espectro electromagnético, su acción sobre plantas y animales es considerable. Esto principalmente debido a que importantes biomoléculas como proteínas y ácidos nucleicos, por presentar electrones  $\pi$  la absorben fuertemente. Numerosos son los efectos atribuibles a esta radiación, la cual ha estado desde siempre presente en el ambiente, más aún cuando la capa de ozono se deteriore. A continuación, se presentan los efectos más comunes.

### **Cambios en la morfología y anatomía**

A lo largo de la evolución, la radiación UV-B ha inducido en las plantas diversos cambios anatómicos que han permitido modificar su intercepción y su penetración al interior de las células. Por ejemplo, el aumento de ceras y el cambio en la composición de éstas en la superficie foliar observado en especies expuestas a UV-B, favorece la reflexión de la luz UV-B desde la superficie foliar y contribuye a reducir la penetración de la radiación UV-B en las hojas. Por ejemplo, en coníferas esta penetración medida por medio de micro sensores de fibra óptica resulta ser prácticamente nula, 3 - 12% en plantas leñosas y hierbas y 18 - 41% en plantas herbáceas dicotiledóneas. El aumento del grosor de las hojas es otro de los cambios anatómicos observado en plantas expuestas a radiación UV-B. Esto se debería al aumento del grosor de la pared celular como consecuencia de la inducción de síntesis de lignina y otros poli fenoles.

Un porcentaje de la radiación UV-B que penetra a través de la hoja es absorbido por cromóforos asociados al aparato fotosintético, así, las respuestas fotomorfogénicas tienen un impacto directo sobre la mantención de la estructura y Funcionamiento de éste. Fagerberg [4] señala por ejemplo que, en diferentes cultivos de arroz en niveles de radiación

UV-B de 15-16 kJ·m<sup>-2</sup> provocan destrucción de membranas en cloroplastos y desorganización de granas, en maíz una intensidad de 9 kJ·m<sup>-2</sup> provoca colapso de la epidermis adaxial en la zona distal de las hojas.

Según Teveni [5] una de las características que presentan las plantas, ubicadas a gran altura (alta montañas), es que presentan tallo y ramas cortas, resultando plantas de morfología más bien compacta y de tamaño pequeño.

Otras características de las plantas a gran altura es la disminución de la masa de brotes si la reducción de ozono es severa, cantidades aumentadas de algunos compuestos fenólicos en tejidos vegetales y, quizás, reducciones en el área de follaje. En algunos casos, las respuestas de crecimiento comunes pueden reducirse aumentando las concentraciones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, los cambios en la química de los tejidos vegetales generalmente no se revertirán por el aumento de CO<sub>2</sub>. Entre otras cosas, los cambios en la química de los tejidos vegetales inducidos por el aumento de UV-B pueden reducir el consumo de tejidos vegetales por insectos y otros herbívoros, aunque ocasionalmente puede aumentar el consumo. El ataque de patógeno sobre las plantas puede aumentar o disminuir como consecuencia de la elevación de UV-B, en combinación con otros cambios climáticos. Esto puede verse afectado tanto por alteraciones en la química de la planta como por daño directo a algunos patógenos. La limitación de agua puede disminuir la sensibilidad de algunas plantas agrícolas a UV-B, pero para la vegetación en otros hábitats, esto puede no aplicarse.

### **Estructura química de la guadua**

Los componentes químicos de una caña de bambú son muy complejos. El Bambú, como la madera y residuos agrícolas, se compone principalmente de celulosa, hemicelulosas y lignina, a pesar de que los contenidos de estas composiciones son diferentes. Los constituyentes menores consisten en diversos polisacáridos solubles y materiales de proteínas, resinas, taninos, ceras, una pequeña cantidad de

cenizas, y así sucesivamente.

El comportamiento químico de la superficie de bambú juega un papel importante en su utilización. El bambú es un polímero complejo que consiste principalmente de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S).

El contenido de celulosa y hemicelulosas en la superficie de bambú eran obviamente más bajos que los de la lignina y resúmenes. Las hemicelulosas contenidas en la capa externa de bambú fue menor que en la capa interior. Hay una capa cerosa o una capa de silíceo en la superficie de bambú, que afecta a la propiedad de conglutination interfacial entre las partículas de bambú y el adhesivo en el proceso de fabricación de material compuesto de bambú.

### Cambios en el color del bambú

“Durante su degradación, los materiales de bambú sufren cambios químicos complejos, que conducen a su decoloración, disminución de la ligereza, rugosidad, agrietamiento de las superficies [6]. Estudios realizados muestran que, cuando el bambú es expuesto a más de 100 horas de radiación ultravioleta el color cambia. La tonalidad adquirida transcurre de blanco a amarillo-rojo, y el color se profundiza con una exposición prolongada. El cambio de color de madera estaba estrechamente relacionado con la radiación con longitudes de onda por debajo de 396 nm., lo que causó principalmente fotoamarilleamiento.

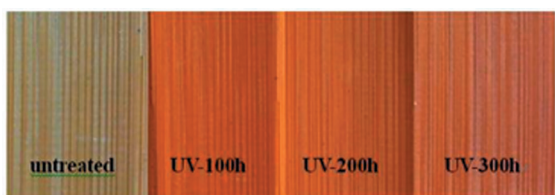


Figura 1. Cambios de color del bambú.  
Fuente. Haixia Yu. 2015.

Las tonalidades son el resultado del reflejo de la luz por parte del bambú, de acuerdo a la longitud de onda que incide sobre la misma. En el bambú, por ejemplo, a los 400 nm. Fue asignado a color púrpura, 580 nm. Fue asignado a amarillo, y 700 nm. fue asignado a rojo.

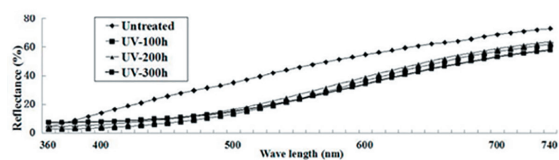


Figura 2. Reflejo de luz vs longitud de onda.  
Fuente. Haixia Yu. 2015.

Se ha propuesto que la Radiación UV-B es la responsable de la reducción del tamaño del tallo de las plantas ubicadas en la alta montaña, debido a la oxidación de fitohormonas inductoras del tamaño de las células, como el ácido indolacético (AIA), la cual es susceptible de a ser degradada por la radiación UV-B.

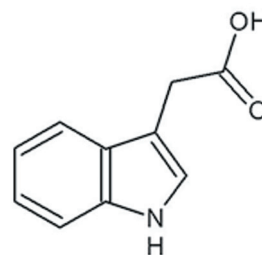


Figura 3. Estructura molecular ácido indolacético

Fuente. Advanced Chemistry Development, Inc. 2006. (www.acdlabs.com)

Las auxinas son hormonas de crecimiento de plantas, debido a su capacidad de estimular el crecimiento diferencial en respuesta a estímulos de luz [7]. Son las fitohormonas que juegan el rol más importante en el desarrollo de las plantas<sup>44</sup>. Se han descrito cuatro auxinas naturales sintetizadas por plantas: AIA, ácido indol-3-butírico (IBA), ácido 4-cloroindol-3-acético (4-Cl-AIA) y ácido fenilacético (PAA) [8]

Un estudio realizado a una especie de bambú denominada *Gigantochloa atter* donde se quería estudiar los efectos de la AIA, se encontró que el AIA estimuló el del enraizamiento.

La industria agroquímica ha desarrollado auxinas sintéticas que imitan la estructura de AIA. Las auxinas sintéticas más ampliamente utilizadas como herbicidas son el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido naftaleno-1-acético (NAA) [9]. En contraste con AIA, estos herbicidas poseen una larga vida media, debido a su alta estabilidad en

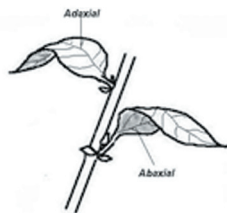
plantas superiores y, por lo tanto, mayor efectividad que AIA.

El AIA es la principal auxina nativa de las plantas superiores [10]. El AIA está involucrado en el crecimiento y desarrollo de las plantas, principalmente en una serie de procesos fisiológicos que incluyen el alargamiento y división celular, diferenciación de tejido, fototropismo, gravitropismo y en respuestas defensivas [11], destacando un importante rol en la formación del xilema y la raíz.

La biosíntesis de AIA no está limitada a las plantas superiores. Organismos como bacterias, hongos y algas son capaces de sintetizar AIA, lo que puede afectar el crecimiento y el desarrollo de las plantas [12]

El Ácido Indolacético (AIA) es muy usado en la industria de alimentos o más bien por los productores de alimentos (sector agropecuario) como aditivo para mejorar la eficiencia en la producción. El AIA favorece la expansión foliar, lo que a su vez propicia el aprovechamiento de los recursos al estimular el desarrollo de los frutos, el tallo principal y reduce el crecimiento de ramas laterales.

La disminución del área foliar, que se refleja en la presencia de hojas de menor tamaño, se produciría como consecuencia del efecto inhibitorio de la radiación UV-B sobre la expansión del epitelio de la cara adaxial que es la que normalmente recibe flujos de radiación UV-B mayores a la abaxial. Se ha demostrado que es la expansión de las células epiteliales la que regula el crecimiento foliar.



**Figura 4.** Estructura hoja. Fuente. Unidad de informática del instituto de químicas, UNAM, 2016.

**Fuente.** Unidad de informática del instituto de químicas, UNAM, 2016.

Hay evidencia científica que demuestra que, es la expansión de las células epiteliales la que regula el aumento foliar, y la inhibición de la expansión observada en condiciones de alta radiación UV-B se produciría debido a un mayor entrecruzamiento de los enlaces formados entre carbohidratos y ácido ferúlico. Esto finalmente reduce la extensibilidad de la pared celular, lo cual concuerda con lo encontrado por Liu [13] y colaboradores, quienes observaron un aumento de la proporción de ácido ferúlico en el epitelio de hojas de cebada como respuesta a la radiación UV-B

## Daños al ADN

El ADN es particularmente sensible a radiación UV-B, debido a que los fotones del tipo ultravioleta promueven transiciones  $\pi \rightarrow \pi^*$  en las bases nitrogenadas que constituyen los nucleótidos alterando directamente el establecimiento normal de enlaces químicos [14].

La fototransformación producida en el ADN afecta principalmente a bases de timina adyacentes, las que por efecto de la radiación UV-B forman estructuras cíclicas denominadas dímeros de pirimidina ciclobutano (CPDs) [15].

Bajo condiciones de radiación UV-B no sólo se observan lesiones en el ADN del tipo CPDs, también esta radiación induce la formación de otros fotoproductos denominados dímeros de pirimidina pirimidona (6-4 PP) entre bases adyacentes de timina y citosina.

La radiación UV-B puede dañar directamente al ADN, tanto en las plantas como en animales, debido a que la absorción de la radiación induce la formación de dímeros de pirimidinas adyacentes, resultando en dos tipos de daño: en mayor medida los dímeros de pirimidinas por formación de anillos de ciclobutano (DPCs) y, en menor medida, los 6-4 fotoproductos (6-4 PP)

## CONCLUSIONES

Un consenso de la comunidad científica que ha estudiado los efectos de la radiación en las plantas,

está de acuerdo con que uno de los efectos negativos de la UV-B está relacionado con la inhibición del crecimiento. Ahora, el crecimiento de las plantas (tallos y hojas) puede abordarse por dos caminos, uno el cual establece que la planta al absorber UV-B destruye mediante la oxidación de fitohormonas inductoras del tamaño de las células, como el ácido indolacético (AIA), esto dicho en otras palabras, es que las células crecen mucho menos que aquellas con una dosis de exposición menor; otro camino para estudiar el bajo crecimiento está asociado con la inhibición a la proliferación de nuevas células o la división celular, puesto que un número menor de células traerá consigo un menor tamaño tanto de las hojas como del tallo principal.

Un aumento de la radiación UV-B en todo el planeta, a causa de la degradación de la capa de ozono O<sub>3</sub> o de otros factores inducidos por el hombre, podría significar un grave peligro al crecimiento de las plantas, el incremento de la tasa de descomposición de hojarasca y afectaciones en el proceso de fotosíntesis (su principal proceso) y con ello afectar significativamente las condiciones de vida en la tierra para todas las especies.

La radiación afecta el ciclo de Calvin, induce la pérdida de actividades enzimáticas de dicho ciclo, con lo que se afecta la fijación o asimilación del CO<sub>2</sub>. El proceso es vital en la producción de glucosa para las mismas plantas, su alimento. Al afectar el ciclo también estaría afectando de manera indirecta el crecimiento dado que las plantas sustraen la energía y su alimento. Una consecuencia potencial sería que, al afectar la fijación de CO<sub>2</sub> este no podría ser utilizado por las plantas y sería devuelto al ambiente, con lo que podría incrementar los gases de efecto invernadero.

Un pigmento que ayuda a combatir el efecto de la radiación por poseer capacidades antioxidantes, son los flavonoides, los cuales incrementan su presencia cuando las plantas son expuestas a dosis de radiación UV-B.

La radiación ultravioleta afecta el ADN de las células, tanto animal como vegetal. Está asociada a

distintos tipos de cáncer en el hombre, incluido uno de los más mortales: el melanoma, así mismo en plantas se ha encontrado que induce la formación de dímeros de pirimidinas adyacentes, resultando en dos tipos de daño: en mayor medida los dímeros de pirimidinas por formación de anillos de ciclobutano (DPCs) y, en menor medida, los 6-4 fotoproductos (6-4 PP). Ambos tipos de dímeros bloquean la replicación del ADN e interfieren con la síntesis del ARNm durante la transcripción. El daño en el ADN es citotóxico y mutagénico para las células, y si no es removido puede causar la muerte celular.

La exposición del bambú a más de 100 horas de radiación ultravioleta provoca un cambio en el color. La tonalidad adquirida transcurre de blanco a amarillo-rojo, y el color se profundiza con una exposición prolongada.

## RECOMENDACIONES

Dado que en la investigación realizada se presentó los efectos de la radiación UV-B en las plantas y en la guadua, a futuro podrían realizarse pruebas experimentales bajo diferentes condiciones de temperatura, humedad, esfuerzo, etc.

Se podría de igual forma realizar ensayos que busquen obtener respuestas sobre cómo y en qué medida afecta el crecimiento de la guadua al estar expuesto a la radiación UV-B, y comprobar si las auxinas de la guadua presentan igual, mayor o menor resistencia a la degradación de estas hormonas frente a las otras plantas. Hay literatura científica que afirma que los flavonoides de la guadua dada sus bondades antioxidantes y absorbentes de radiación UV-B podrían ser utilizados en la industria de la cosmetología e incluso como protector solar.

Otra línea de investigación sería analizar la posible correlación entre la radiación UV-B y el porcentaje de humedad, bajo la tesis que la humedad es una consecuencia de la radiación.

Analizar a través de microscopio electrónico las variaciones que se producen en la guadua una vez esta es sometida o expuesta a la radiación UV-

B, con el propósito de observar los cambios en su estructura y establecer el tipo de daño producido.

## REFERENCIAS

- [1] LASCANO, Carlos. Establecimiento y renovación de pasturas. Cali: CIAT. 1991. p. 124
- [2] RIVAS, Javier de las. Luz y aparato fotosintético.
- [3] BLUMTHALER, M. y AMBACH, W. Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine regions. En: Science. Mayo, 1990, Vol. No. 248, p 206-208.
- [4] FAGERBERG, W.R.; BORNMAN, J.F. Ultraviolet-B radiation causes shade-type ultrastructural changes in Brassica napus. En: Physiol Plant. 1997. Vol. 101, no. 4. P.833-844.
- [5] TEVENI, Manfred. UV-B effects on terrestrial plants. En: Photochem Photobiol. Octubre, 1989, vol. 50, no. 4. P. 479-487.
- [6] HAIXIA Yu. Et al. Surface Discoloration Analysis and Lignin Degradation Fragments Identification of UV-Irradiated Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel). En: BioResources. 2015. Vol. 10, no. 1. p. 1617-1626
- [7] ZHAO, Y. Auxin biosynthesis and its role in plant development. En: Annual Review of Plant Biology. 2010. vol. 61, no. 61. p. 49-64.
- [8] WISNIEWSKA, J. et al. Localization directs auxin flow in plants. En: Science. Mayo, 2006. vol. 312, no. 5775. p. 883-883.
- [9] SIMON, S; Petrášek J. Why plants need more than one type of auxin. En: Plant Science. Marzo, 2011. vol. 180, no. 3, p. 454-460. Ibid., p 454-460
- [10] BONNER, J. Y BANDURSKI, R. S. Studies of the Physiology, Pharmacology, and Biochemistry of the Auxins. En: Annual Review of Plant Physiology. Junio, 1952. vol. 3, no. 1. p. 59-86.
- [11] LEVEAU, J. H. J. Y LINDOW, S. E. Utilization of the Plant Hormone Indole-3-Acetic Acid for Growth by *Pseudomonas putida* Strain 1290. En: Applied and Environmental Microbiology. Enero, 2005. vol. 71, no. 5. p. 2365-2371.
- [12] LEE, S. et al. Indole-3-Acetic Acid Biosynthesis Is Deficient in *Gluconacetobacter diazotrophicus* Strains with Mutations in Cytochrome c Biogenesis Genes. En: Journal of Bacteriology. Agosto, 2004. vol. 186, no. 16. p. 5384-5391
- [13] LIU, L. et al. Effects of UV-B on flavonoids, ferulic acid, growth, and photosynthesis in barley primary leaves. En: Physiol Plant. 1995. vol. 93, no 4. p. 725-733.
- [14] STRID, A.; CHOW, W.S y ANDERSON, J.M. UV-B damage and protection at the molecular level in plants. En: Photosynthesis Res. 1994. vol. 39, no. 3. p. 475-489.
- [15] LI, J. et al. Similarities and differences between cyclobutane pyrimidine dimer photolyase and (6-4) photolyase