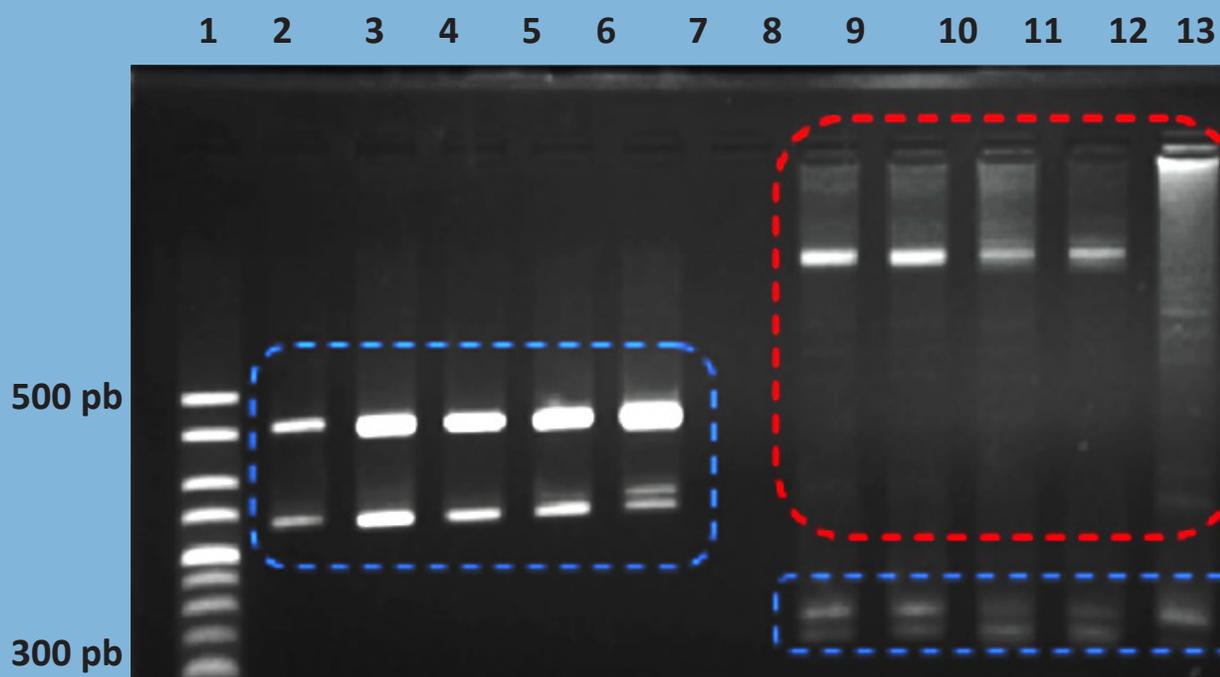


MUTIS

REVISTA DIGITAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA



MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering, Jorge Tadeo Lozano University, is licensed under the Creative Commons 4.0: Attribution - Noncommercial - No Derivative Works



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA

MUTIS

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Dirección de Publicaciones
Carrera 4 N° 23-76 Módulo 29
Piso 2, Bogotá D. C., Colombia
Tel: (571) 242 7030 Exts. 1880-3120

ISSN: 2256-1498

Rectora
CECILIA MARÍA VÉLEZ WHITE

Vicerrectora Académica
MARGARITA MARÍA PEÑA BORRERO

Vicerrectora Administrativa
NOHEMY ARIAS OTERO

Director de Investigación, Creación y Extensión
LEONARDO PINEDA SERNA

Decano de la Facultad de Ciencias Naturales
e Ingeniería
ISAAC DYNER REZONZEW

Director de Publicaciones
JAIME MELO CASTIBLANCO

Coordinador Editorial
HENRY COLMENARES MELGAREJO

Diagramación
LUIS CARLOS CELIS CALDERÓN



MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering, Jorge Tadeo Lozano University, is licensed under the Creative Commons 4.0: Attribution - Noncommercial - No Derivative Works

Mutis es una publicación semestral de ciencia e investigación de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Los artículos publicados son responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición editorial de *Mutis*.

Editores
JAVIER HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ
Ciencias Naturales
ALIS YOVANA PATAQUIVA MATEUS
Ingeniería

Comité Editorial
ISAAC DYNER REZONZEW
Universidad Jorge Tadeo Lozano
MICHAEL J. AHRENS
Universidad Jorge Tadeo Lozano
LEONARDO MARIÑO RAMÍREZ
NCBI - National Center for Biotechnology Information,
Bethesda MD, EE. UU.
MYRON SPECTOR
Harvard University, EE. UU.

Comité Científico
MÓNICA PUYANA HEGEDUS
Universidad Jorge Tadeo Lozano
ANDRÉS FELIPE SUÁREZ ESCOBAR
Universidad Jorge Tadeo Lozano
JOSÉ HERNEY RAMÍREZ
Universidad Nacional de Colombia
ALBA GRACIELA ÁVILA
Universidad de los Andes
ANDRÉS FELIPE LÓPEZ
Universidad Libre
SILVIO ALEJANDRO LÓPEZ PASOS
Colegio Mayor de Cundinamarca

CONTENIDO

Vol. 5 Nº 2, julio-diciembre 2015

Editorial

La genómica y la Tadeo

Javier Hernández-Fernández

Editor Ciencias Naturales Revista *Mutis*

4

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN – RESEARCH ARTICLES

Potencial energético de combustibles densificados de residuos de la uva isabella (*Vitis labrusca* L.)

Densified fuel energy potential of waste from isabella grapes (*Vitis labrusca* L.)

5

Andrés Felipe Rojas González, Ángela Viviana Ruales Salcedo, Francisco Velasco

Impactos ambientales negativos generados por el uso de palancas para fortificación de minas, sector carbonífero

Negative environmental impacts generated by the use of levers for fortification of mines, coal sector

Mónica Alejandra Moreno, Jorge Enrique Arenas, Jacipt Alexander Ramón

16

Selección de marcadores microsatélites (SSR's) para el análisis de variabilidad genética en siete cultivares de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)

Microsatellite markers selection microsatellite markers (SSRS) for analysis of genetic variability in seven cultivars arracacia (*Arracacia xanthorrhiza*)

Madeleyne Parra Fuentes, Paula Quintero Munevar, Javier Hernández Fernández

39

Análisis de captura de carbono en seis especies forestales nativas (3 esciofitas-3 heliofitas) plantadas con fines de restauración en el Parque Ecológico La Poma (PEP) - sabana de Bogotá – Colombia

Analysis of carbon sequestration in six forest species native (3 shade tolerant -3 heliophilous) planted for the purpose of restoring the ecological park in the poma (PEP) - Savannah of Bogota - Colombia

Bayron David Díaz Cepeda, Luisa Fernanda Velásquez Camacho

46

Influencia de los materiales cerámicos en colectores solares de placa plana para precalentamiento de agua en procesos agroindustriales

Influence of ceramic materials on solar storage collector used to preheat water in agro-industrial processes

Leonardo Alonso, Mario Bernal, Gabriel Camargo

55

Instrucciones para autores

67

Comité evaluador

70

EDITORIAL

La genómica y la Tadeo

En 1977 el bioquímico inglés Frederick Sanger reportó un método para secuenciar moléculas de ADN, método que a la postre revolucionaría el área de la genómica y el entendimiento en general de la vida en nuestro planeta. Él demostró las bondades de su método al secuenciar completamente el genoma del fago Phi174 que contenía 5.836 pares de bases. Con esta técnica mejorada, se pudieron leer hasta 700 pares de bases en una sola reacción y fue utilizada masivamente para la secuenciación de genomas bacterianos, de levaduras, para finalmente, en 1990 desembocar en la propuesta de lectura de todo el genoma humano. Fueron muchos los que se opusieron al Proyecto Genoma Humano, sin embargo, contra todos los pronósticos se dio inicio bajo la dirección del premio nobel James D. Watson. Durante sus 13 años de desarrollo, el proyecto abrió muchos caminos, entre ellos, la bioinformática, ciencia que en 1990 era una empresa naciente, apenas en 1987 se había creado el GenBank en Estados Unidos, que sería a la postre el repositorio de todas las secuencias de ADN obtenidas hasta hoy día, teniendo copias en la base de datos japonesa (DDBJ) y europea (EMBL). Las tres diseminan libremente la información. Con el Proyecto Genoma Humano se desarrollaron a la par, las ómicas (proteómica, transcriptómica, metabolómica, farmacogenómica, epigenómica y lipidómica, etc.). El desarrollo de NGS (del inglés, Next Generation Sequencing) abrió un camino expedito para los proyectos ómicas. El método Sanger se utilizó automatizadamente con la posibilidad de hacer 96 o 384 lecturas en paralelo, lo que le imprimió al proyecto mayor rapidez en la obtención de secuencias, sin embargo, todavía resultaba un método demorado y costoso. En el proyecto se invirtieron 3 billones de dólares. Hoy día el costo de secuenciar 1 kb se estima en \$0,5 US. Con NGS, también llamada secuenciación masiva en paralelo, la secuenciación en paralelo ha mejorado la rapidez y bajado los costos exponencialmente. Tres tecnologías de NGS son utilizadas masivamente, aunque ya hay disponibles otros métodos que no son igualmente utilizados. 454 GSFlex de Roche, Genome Analyzer o HiSeq de Illumina y SOLiD de Life Technologies que con sus mejoras y su bajo costo han permitido en casi todo el planeta dar inicio a un número inusitado de proyectos que en últimas buscan inventariar todos los genes del mundo. Recientemente el mercado ofrece versiones de equipos NGS con características un poco limitadas en rendimiento y capacidad de secuenciación, pero más fácilmente utilizables por la comunidad de investigadores, y, además, orientados a un segmento de mercado diferente. Entre ellos tenemos: los equipos 454 GS Junior de Roche, MiSeq Personal Sequencer de Illumina e Ion Torrent de Life Technologies.

Algunos ejemplos de proyectos que han motivado el desarrollo tecnológico de la secuenciación son: el proyecto 1.000 Plant Genomes Project, que tiene como meta obtener el transcriptoma (genes expresados) de 1.000 especies de plantas en los próximos años. En Colombia el mismo, pero únicamente de 100 genomas, la segunda expedición botánica. Otro es el proyecto Genoma 10K, que tiene como meta determinar la secuencia de ADN de 10.000 especies de vertebrados, aproximadamente una por cada género de vertebrados. Y el iK5 que quiere secuenciar el genoma de 5.000 especies de insectos y artrópodos en los próximos 5 años. Estamos ya en la era del genoma personal humano y muy cerca de la medicina personalizada. En Colombia se está realizando el Proyecto Chocogén (www.chocogen.com), en el que se han secuenciado los genomas de 100 personas de la región del Chocó. Esto demuestra el avance en la investigación genómica en nuestro país.

En la Universidad Jorge Tadeo Lozano hemos avanzado también en este campo. Hace año y medio se dio inicio al proyecto “Análisis transcriptómico de neonatos, juveniles y adultos de la tortuga *Caretta caretta* anidante del Caribe colombiano”. Este proyecto tiene como objetivo obtener el primer catálogo de genes de la tortuga cabezona, además de determinar la expresión diferencial de genes entre neonatos, juveniles y adultos de esta tortuga marina. En la Tadeo ya hemos iniciado nuestra historia en genómica y transcriptómica. Esperamos a corto plazo tener un liderazgo en temas marinos en Colombia.

Javier Hernández-Fernández
Editor Ciencias Naturales
Revista *Mutis*

Características energéticas de combustibles densificados de residuos de la uva isabella (*Vitis labrusca* L.)

Andrés Felipe Rojas González,^{1*} Ángela Viviana Ruales Salcedo,²
Francisco Velasco³

¹Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Química, Campus La Nubia, Manizales, Colombia.

²Estudiante de Doctorado Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Química, Campus La Nubia, Manizales, Colombia

³Director Técnico, Laboratorio de Combustión Combustibles - LCC, Universidad del Valle, Ciudadela Meléndez, Cali, Colombia.

*Autor para correspondencia: anfrojasgo@unal.edu.co

RESUMEN

Los procesos de densificación son utilizados para mejorar las características fisicoquímicas de biomasa, con la finalidad de que esta sea empleada como combustible. En este trabajo se muestran los resultados de las características energéticas que presentan los residuos provenientes del cultivo (sarmientos) y producción de jugo de uva (hollejos, escobajos y semillas), al ser densificados. Para evaluar las características energéticas, tanto los residuos como las briquetas se caracterizaron respecto a su análisis próximo, análisis último y se determinó el índice de reactividad por medio de la relación materia volátil/carbono fijo (MV/CF). Se encontró no fue posible densificar las semillas por la presencia de aceite en su composición pero es el residuo de mayor HHV. También se encontró que el proceso de densificación favorece la concentración de energía y se recomienda elaborar briquetas con la mezcla de los residuos tal cual se obtienen en el cultivo y procesamiento de la uva.

Palabras clave: residuos de uva, combustibles densificados, características energéticas.

Editor: Hernández Fernández, J.

Citation: Gamboa, M. (2015). Características energéticas de combustibles densificados de residuos de la uva isabella (*Vitis labrusca* L.) *Revista Mutis* 5(2); págs. 5-15.

Received: August 2, 2015. **Accepted:** September 5, 2015. **Published online:** December 31, 2015.

Copyright: ©2015 Gamboa. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Densified fuels energy characteristics of waste from isabella grapes (*Vitis labrusca* L.)

ABSTRACT

Densification processes are used to enhance the physicochemical characteristics of biomass, in order to be used as a fuel. In this paper the energy characteristics results of waste from crop (shoots) and grape juice production (skins, seeds and stalks), when they are densified, are presented. To establish the energy characteristics, both as waste briquettes were characterized regarding their proximal analysis, elemental analysis and calorific power, and the reactivity index was determined by the volatile / fixed carbon



(MV / CF) material relationship. It was found that the seeds were not possible densified by oil presence in their composition but it is waste of higher HHV. It was also found that the densification process benefits the energy concentration and it is recommended to produce briquettes mixing the waste obtained in the crop and processing of grapes.

Keywords: grape waste, densified fuels, energetic characteristics.

INTRODUCCIÓN

En los procesos de producción y transformación de la uva son generados residuos que poseen características de interés para el uso agronómico, alimentario, farmacéutico/cosmético y energético. Se han encontrado estudios donde algunos de estos residuos son utilizados como materia prima en la producción de pulpa de papel (Peralbo-Molina, A. & Luque de Castro, M. D., 2013), carbón activado (Jimenez-Cordero, D. *et al.*, 2014), extracción de compuestos antioxidantes (Da Porto, C. *et al.*, 2013), y suplemento de bebidas (Toaldo, I. M. *et al.*, 2013), entre otros. En Colombia, la producción de uva es de aproximadamente 24.000 t/año (Agronet, 2011), la cual es destinada a la producción de pulpas, zumos, mermeladas, bebidas alcohólicas y consumo en refresco. Actualmente en el país, estos residuos son de poco valor económico debido a que no se realiza un aprovechamiento importante de ellos y se encuentra poca información en este tema.

El valor energético y económico de la biomasa se puede incrementar por medio de procesos que mejoren sus características, disminuyendo la humedad, aumentando la densidad y por tanto concentrando su energía. Algunos de los procesos que se utilizan con esta finalidad son la producción de combustibles densificados, como *pellets* y briquetas y la obtención de carbonizados por medio del procesos de pirólisis. La biomasa en su forma original tiene bajo valor económico debido a que presenta alto contenido de humedad, irregularidad en la forma y tamaño, y baja densidad aparente. Una alternativa utilizada para aumentar el valor económico y energético de la biomasa es realizar pretratamientos como secado, molienda y densificación (Mediavilla, I. *et al.*, 2009). Las briquetas y *pellets* producidos por densificación a partir de biomasa, son una forma de biocombustibles sólidos densificados, elaborados de residuos lignocelulósicos

comprimidos a alta presión y temperatura. Aquí la temperatura hace que el almidón y las proteínas presentes en la biomasa actúen como agentes aglutinantes que contribuyen a la dureza y durabilidad de las briquetas (Chen, L. *et al.*, 2009; Kaliyan, N. & Morey, R. V., 2009). Uno de los principales objetivos de la densificación es aumentar la densidad aparente de la biomasa (de 40–200 kg m⁻³ a 600–800 kg m⁻³) para reducir los costos de transporte, manejo y almacenamiento, facilitando su uso directo en combustión, co-combustión, gasificación y pirólisis (Kaliyan, N. & Morey, R. V., 2009).

En la elaboración de materiales densificados generalmente son utilizadas dos técnicas: aglomeración por secado y aglomeración por presión. En la primera, los aglomerados se forman durante el movimiento adecuado de los materiales particulados con un agente aglutinante. En la aglomeración por presión, las partículas de biomasa se someten a alta presión dentro de un volumen confinado, con la finalidad de aumentar la densidad del material (Kaliyan, N. & Morey, R. V., 2009).

La producción y la calidad de las briquetas provenientes de residuos agrícolas, depende de las características fisicoquímicas propias del material, como la humedad, cenizas y características de flujo. Es por ello que en la elaboración de briquetas se recomienda un contenido de humedad bajo (10–15 %), debido a que un alto contenido de ella implica gasto energético en operaciones de secado y reducción en la temperatura de combustión. El porcentaje de cenizas debe ser inferior a 4 % para no tener problemas de formación de escorias que pueden generar depósitos en las paredes de los hornos. Por otra parte, se recomienda que la materia prima para la elaboración de las briquetas tenga un tamaño de partícula, diámetro equivalente, entre 6 a 8 mm, de esta manera puede fluir fácilmente en cintas transportadoras, tolvas y silos de almacenamiento (Chen, L. *et al.*, 2009).

La calidad de los biocombustibles densificados se determina a través de su resistencia mecánica y durabilidad, estas dos características dependen de los componentes de la biomasa como el almidón, proteína, fibra, lignina y aceite/grasa. El almidón en presencia de humedad y calor, actúa como un agente aglutinante. Por este motivo, durante el proceso de densificación, el cizallamiento mecánico mejora la gelatinización del almidón y cuanto mayor es el porcentaje de gelatinización, mayor es la durabilidad del material densificado

(Kaliyan, N. & Morey, R. V., 2009). En cuanto a las proteínas, su desnaturalización y plastificación como resultado de los efectos combinados de calor, humedad y cizallamiento en la densificación, permite su funcionalidad como aglutinante, contribuyendo a la dureza y durabilidad de las briquetas (Chen, L. *et al.*, 2009; Kaliyan, N. *et al.*, 2009). Respecto a la influencia de las fibras, la fibra soluble aumenta la viscosidad, afectando positivamente la estructura del material densificado. La fibra insoluble no permite una buena unión entre las partículas, dando lugar a puntos débiles que generan fragmentación. De otro lado, la grasa/aceite actúa como un lubricante entre las partículas, generando baja durabilidad en los materiales densificados. Adicionalmente, la grasa/aceite inhibe las propiedades de unión de los componentes solubles como almidón, proteína y fibra. Finalmente, la lignina se ablanda y se funde a altas temperaturas, exhibiendo propiedades termoestables (Chen, L. *et al.*, 2009) y actuando como un aglutinante en los materiales densificados (Kaliyan, N. & Morey, R.V., 2009).

El objetivo de este artículo es determinar las características energéticas de combustibles densificados (briquetas), preparados a partir de: i) sarmientos, que son un residuo de la poda del cultivo de la vid, y ii) escobajos, hollejos y semillas, residuos de la producción de pulpa de uva. Para establecer las características energéticas, se comparó el poder calorífico superior y el índice de reactividad determinado mediante la relación materia volátil/carbono fijo (MV/CF) entre los mismos residuos y las briquetas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de los residuos de uva

Los escobajos (ES), hollejos (HO) y semillas (SM), se obtienen en una pequeña empresa productora de pulpa de uva localizada en el municipio de Buga, en el centro del Valle del Cauca. El tiempo transcurrido entre la generación de los residuos y su almacenamiento (-20 °C) es menor a 8 horas, con la finalidad de minimizar los cambios bioquímicos que se puedan presentar. Los sarmientos (SR) se obtienen de las labores de poda de un cultivo de vid, con enrejado horizontal, localizado en el municipio de Guacarí (Valle del Cauca). Esta labor de poda, o coste de las ramas superfluas o sarmientos, se llevó a cabo a tres vides elegidas al azar de la misma edad (13 años) y ciclo vegetativo. Las

SM y HO se separan manualmente y al igual que los SR y ES, se secan en un horno a 70 °C, hasta alcanzar peso constante. Después del secado, los residuos se muelen en un molino de impacto (Retsch SR200), hasta alcanzar un tamaño de partícula menor o igual a 1 mm. Las muestras se almacenan en bolsas de polietileno con cierre hermético a temperatura ambiente. Para los análisis se utilizó un tamaño de partícula de material más fino que la malla 60 (menor a 0,246 mm).

Tratamiento y caracterización de los residuos

Los residuos se caracterizaron por medio del análisis próximo, último y poder calorífico. A través del análisis próximo se determina el porcentaje de humedad, materia volátil, cenizas y carbono fijo de los residuos, según la norma ASTM D7582-12. Los análisis se realizan utilizando aproximadamente 1 g de muestra en un analizador termogravimétrico marca Leco, TGA-601. El análisis último se lleva a cabo en un analizador Leco CHN-628 para determinar el contenido de carbono (C), hidrógeno (H) y nitrógeno (N) según la norma ASTM D5373-14 y en un Leco S-632 para cuantificar azufre (S) de acuerdo a la norma ASTM D4239-14. En estos dos equipos se emplea un mismo tamaño de muestra de 0,1 g. Los análisis del poder calorífico se realizan utilizando 1 g de muestra en una bomba calorimétrica marca Leco AC-350, siguiendo la norma ASTM 5865-13.

Producción de combustibles densificados

La producción de las briquetas (combustible densificado) se realiza con base en la metodología propuesta por Chou, C. S. *et al.*, (2009), quienes elaboraron briquetas empleando cascarilla de arroz. Las briquetas se producen a partir de cada uno de los residuos puros (SR, ES, HO y SM) y de dos mezclas entre ellos, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de las briquetas.

Residuo	Porcentaje en masa (%)					
	BSR	BES	BHO	BSM	BM1	BM2
SR	100	0	0	0	32,7	25
ES	0	100	0	0	18,7	25
HO	0	0	100	0	21,5	25
SM	0	0	0	100	27,1	25

BSR: briquetas de sarmientos, BES: briquetas de escobajos, BHO: briquetas de hollejos, BSM: briquetas de semillas, BM1: briquetas mezcla 1, BM2: briquetas mezcla 2.

Los porcentajes de la mezcla 1 se establecen teniendo en cuenta la proporción de SR y uva que se produce en una hectárea de cultivo, y el porcentaje de ES, HO y SM que se genera en la producción de pulpa de uva. La mezcla 2 se prepara mezclando en proporciones iguales los cuatro residuos.

Para la elaboración de las briquetas, los residuos se secan y muelen a tamaños de partícula de $\pm 1,0$ mm. Se toma una muestra de 30 g, la cual se calienta en un recipiente hasta alcanzar $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, este residuo a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ se deposita en un molde cilíndrico de acero de 55,0 mm de diámetro, el cual se encuentra a una temperatura de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. El residuo se comprime en una prensa hidráulica, hasta aproximadamente 58 MPa. La presión y la temperatura que se utiliza en la compresión de las briquetas se seleccionan debido a que son los máximos valores alcanzados en la prensa hidráulica. Transcurrido el tiempo de prensado, el molde se retira de la prensa, se enfría hasta que alcance la temperatura ambiente y se desmolda la briketa.

La producción de combustibles densificados se realiza en dos etapas. En la primera etapa se producen briquetas a partir de SR, empleando cuatro tiempos de prensado de 5, 15, 30 y 45 min., con la finalidad de evaluar la influencia del tiempo de prensado en la resistencia a la compresibilidad de las briquetas y establecer el mejor tiempo de prensado. Una vez se establece el tiempo de prensado, en la segunda etapa se elaboran briquetas a partir de SR, ES, HO, SM y de dos mezclas, a las mismas condiciones de temperatura, presión y tiempo.

Caracterización de los combustibles densificados

Las briquetas después de ser obtenidas, se pesan, se mide el diámetro y la altura con un vernier, se determina la densidad y la resistencia a la compresibilidad. La resistencia a la compresibilidad es la carga máxima que un combustible densificado puede soportar antes de sufrir agrietamiento o rotura. La densidad de las briquetas se determina dividiendo la masa entre el volumen, asumiendo que la briketa es un cilindro. La determinación de la resistencia a la compresibilidad se realiza mediante pruebas de compresión axial y diametral, las cuales consisten en ubicar el combustible densificado entre dos placas planas paralelas y aplicar carga a velocidad constante, hasta que la briketa falla (Kaliyan, N. & Morey,

R. V., 2009). Estas pruebas simulan el esfuerzo a la compresión que se produce en el almacenamiento debido al peso de las briquetas localizadas en la parte superior.

El análisis de resistencia a la compresibilidad se realiza empleando una prensa universal para las pruebas de compresión axial y una prensa sistematizada con una celda de carga de 5 kN (TEDEA-Huntleigh, modelo 615) para la compresión diametral. En las pruebas de compresión axial, la briketa se ubica de forma horizontal y se somete a diferentes cargas de presión hasta una carga máxima de 110,3 MPa (máxima presión de la prensa). Para las pruebas de compresión diametral, la briketa se ubica de forma vertical y se somete a diferentes cargas hasta su fractura. Ambos análisis se llevan a cabo a una misma velocidad de 1,09 mm/min. Los cálculos de resistencia a la compresibilidad (RC) se realizan por medio de la ecuación (1), donde F es la fuerza de colapso (N), d es el diámetro de la briketa (mm) y h es la altura de la briketa (mm).

$$RC = \frac{2}{\pi} * \frac{F}{dh} RC = \frac{2}{\pi} * \frac{F}{dh} \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención y preparación de los residuos

Durante el proceso de obtención y preparación de las muestras se determina la composición de los residuos generados en la producción de pulpa de uva, en términos de porcentaje en masa de ES, HO y SM, y la cantidad (en t/ha) de SR obtenidos en la poda de la vid. En la tabla 2 se presentan los resultados de la composición del residuo de la producción de pulpa, junto con datos dados por Toscano, G. *et al.* (2013) en el proceso de elaboración de vino. Los valores obtenidos (en base seca) de uva isabella muestran que las SM son el residuos que se obtiene en mayor proporción (2.6 %), mientras que en la literatura (Toscano, G. *et al.*, 2013), los HO (7.3 %) son generados en mayor cantidad. En los resultados en base húmeda se observa que en los datos de la literatura se genera más del doble de residuos (27.0 %) en comparación con los obtenidos en el presente estudio (10.2 %). Estas diferencias pueden estar asociadas tanto a la variedad de uva como a la tecnología de extracción utilizada.

Tabla 2. Composición del residuo generado en la producción de pulpa de uva.

Residuo	Isabella b.h.	Literatura b.h. ^a	Isabella b.s.	Literatura b.s. ^a
% ES	2,8	3,0	1,1	1,2
% HO	3,7	19,5	1,2	7,3
% SM	3,7	4,5	2,6	2,8
Total	10,2	27,0	4,9	11,3

^a Toscano *et al.*, 2013. b.h.: base húmeda, b.s.: base seca.

De otro lado, la cantidad de SR que se produce en una hectárea (ha) de cultivo de vid se calcula multiplicando la masa del residuo generado en la poda de una planta de vid, con la densidad de siembra del cultivo, la cual es de aproximadamente 2.000 plantas/ha. En la tabla 3 se presenta una comparación de la cantidad de sarmientos generados en las labores de poda de los resultados obtenidos, con datos publicados por Velázquez-Martí, J. M. *et al.* (2011). En esta tabla se observa que los kg de sarmientos en base seca por

planta de la variedad isabella (1,39 kg/planta) es aproximadamente 3 y 2 veces inferior a la variedad Italia y red globe, respectivamente. Sin embargo, la diferencia en las toneladas de SR en base seca por hectárea, entre la variedad isabella y las otras dos variedades son menores, debido a que la densidad de siembra en los cultivos de uva Italia y red globe es de 1.100 plantas/ha (Velázquez-Martí, J. M. *et al.*, 2011). En la figura 1 se muestra el resumen de los resultados presentados en esta sección, junto con las imágenes de cada uno de los residuos.

Tabla 3. Cuantificación de los sarmientos generados en la poda del cultivo de vid.

Variedad	kg SR/planta b.h.	kg SR/planta b.s.	t SR/ha b.s.
Isabella	1,88 ± 0,33	1,39 ± 0,32	2,78
^a Italia	7,24	4,54	5,05
^a Red Globe	4,48	2,81	3,12

^aVelázquez-Martí, B. *et al.*, 2011.

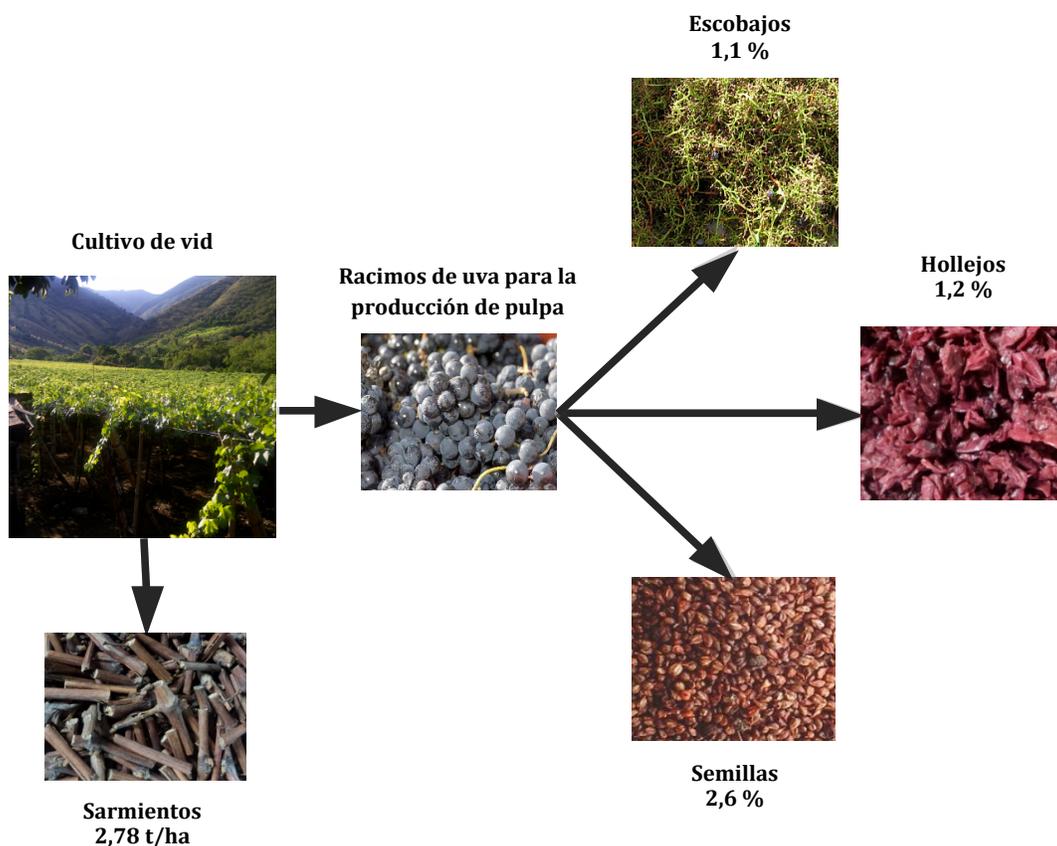


Figura 1. Composición del residuo producido en la producción de pulpa de uva y cuantificación de los sarmientos obtenidos en la poda del cultivo de vid. Todos los valores se reportan en base seca.

Caracterización de los residuos

Los resultados del análisis próximo, último y poder calorífico, se presentan en la tabla 4. Los valores del análisis próximo muestran que el mayor porcentaje de HM (67.70 %) y MV (84.4 %) corresponde a los HO, mientras que el CF (19.80 %) y las CZ (6.33 %) se encuentran en mayor proporción en los ES. En cuanto a los otros residuos, se observa que los SR y SM también presentan alta concentración de MV y CF, respectivamente.

Los resultados del análisis próximo difieren con los reportados por otros autores (Gañán, J. *et al.*, 2006; Fiori, L. *et al.*, 2012; Spinelli, R. *et al.*, 2012; Valente, M. *et al.*, 2015), dado que los valores de HM, CZ y CF de

los residuos estudiados son menores a los de la literatura, y los porcentajes de MV hallados son mayores. Estos valores altos de MV, indican que los residuos de la uva isabella son más reactivos en los procesos de combustión. Respecto a los resultados del análisis último, reportados en la tabla 4, se muestra que las SM tienen el mayor porcentaje de C, N y S. Los SR y ES, al igual que los HO y SM presentan los mayores porcentajes de O e H, respectivamente. El mayor contenido de C en las semillas indica que este residuo es capaz de entregar más energía. Sin embargo, se debe tener en cuenta que posiblemente las SM generan más compuestos contaminantes de tipo NO_x y SO_x en procesos de combustión, debido a los mayores porcentajes de N y S respecto a los otros residuos.

Tabla 4. Análisis próximo, último y poder calorífico de los residuos de uva.

	Residuo					
	SR	ES	HO	SM	M1	M2
Análisis próximo						
%HM	26,10	59,20	67,70	30,60	42,45	45,90
%MV ^a	82,90	73,88	84,14	77,83	80,11	79,67
%CZ ^a	3,42	6,33	3,23	3,25	3,88	4,06
%CF ^a	13,69	19,80	12,64	18,93	16,03	16,27
MV/CF	6,06	3,73	6,66	4,11	5,00	4,90
HHV ^a (MJ/kg)	18,57	17,39	20,59	21,53	19,59	19,52
Análisis último						
%C ^b	50,82	50,82	55,10	57,57	53,57	54,58
%H ^b	7,57	7,54	8,41	8,07	7,88	7,90
%N ^b	0,77	1,12	1,71	2,67	1,55	1,57
%S ^b	0,07	0,07	0,14	0,19	0,12	0,12
%O ^b	40,77	40,45	34,64	31,50	36,88	36,84
Relaciones atómicas						
H/C	1,77	1,77	1,82	1,67	1,77	1,74
O/C	0,60	0,60	0,47	0,41	0,52	0,51

^a Base seca; ^b base seca libre de cenizas.

Caracterización de los combustibles densificados

En la evaluación de la influencia del tiempo de prensado, las briquetas se sometieron a pruebas de compresión axial a diferentes cargas de presión, las cuales no presentaron fractura en todo el transcurso de la prueba. Al finalizar el análisis se observó que la briqueta tenía una consistencia más compacta que antes

de ser sometida a compresión, lo cual indica que las briquetas se pueden someter a mayor presión durante su elaboración, lo que posiblemente mejoraría sus características de resistencia y densidad.

En la figura 2 se presenta la variación de la resistencia a la compresión diametral con el tiempo de prensado de las briquetas de sarmientos. En esta figura se en-

contró que la resistencia a la compresión diametral se incrementa hasta el tiempo de prensado de 30 min y posteriormente, a un tiempo de 45 min, esta resistencia disminuye.

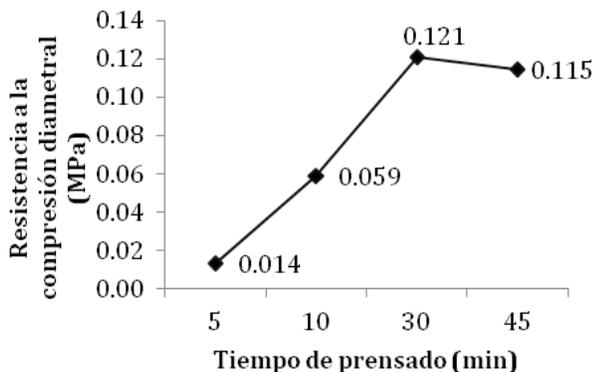


Figura 2. Variación de la resistencia a la tracción diametral con el tiempo de prensado de las briquetas de sarmientos.

El comportamiento de estos resultados podría explicarse en el hecho de que el almidón, las proteínas, la fibra soluble y la lignina de la biomasa actúan como aglutinantes en presencia de calor, y a medida que se incrementa el tiempo de exposición de la biomasa a la presión y temperatura de prensado, el calor

se homogeniza en la briqueta permitiendo que gran parte de los agentes aglutinantes actúen y den mayor resistencia. Sin embargo, transcurrido cierto tiempo de prensado, la temperatura se vuelve homogénea y constante en la biomasa, y esto hace que el aceite contenido en la estructura de la briqueta se solubilice y actúe como lubricante entre las partículas. Con base en los resultados de compresión axial y diametral, se selecciona un tiempo de prensado de 30 min para la producción de las briquetas de sarmientos (BSR), escobajos (BES), hollejos (BHO), semillas (BSM) y de las dos mezclas denominadas BM1 y BM2, como se muestra en la figura 3. Se encontró que las BSM no logran ser compactadas (ver figura 3 BSM) siguiendo la metodología propuesta, esto posiblemente por el alto contenido de aceite en la estructura de las SM, el cual actúa como lubricante entre las partículas e inhibe las propiedades de unión de componentes como almidón, proteína y fibras solubles (Kaliyan, N. & Morey, R. V., 2009). Mientras, las otras briquetas se compactaron sin presentar rompimiento o agrietamiento de las mismas incluidas las briquetas de las M1 y M2, como se muestra en la figura 3, que tienen un importante porcentaje de semillas en su composición, de tal manera que las características lubricantes del aceite presente en las semillas no afectaron la densificación.

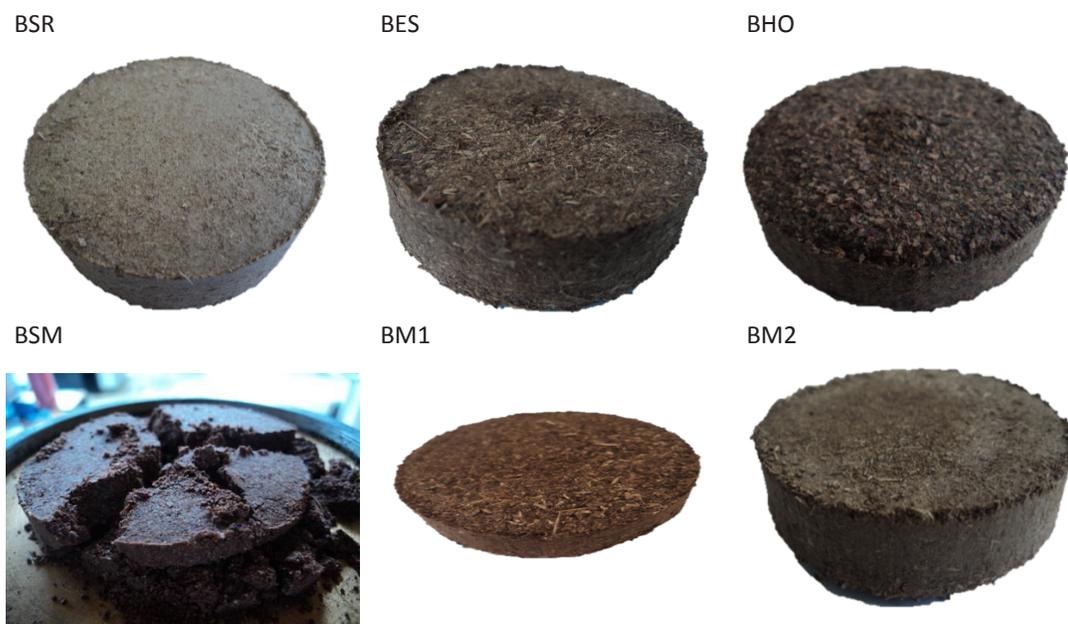


Figura 3. Briquetas producidas con residuos de uva.

En cuanto a los resultados de las características físicas de las briquetas, en la tabla 5 se registra la altura, el diámetro, el peso, la densidad y el valor de resistencia a compresión diametral de las briquetas, a excepción de la BSM que no fue posible compactar. Aquí se puede observar que la altura que alcanzan las briquetas se encuentra en un rango de 13 a 16 mm, y el diámetro es de aproximadamente 55 mm. Dichas dimensiones son equivalentes al tamaño de partícula aproximado del carbón empleados en calderas de parrilla fija, si se desea sustituir parte del carbón empleando estas briquetas en la generación de vapor y energía eléctrica (Medavilla, I. *et al.*, 2009). La masa de las briquetas varía entre 26 a 27 g, esto indica que durante la producción se pierde entre 10 y 13 % de la masa inicial de la biomasa (30

g) destinada para la elaboración de la briqueta. El valor de la densidad absoluta de las briquetas es similar, exceptuando las BSR que presentan una densidad inferior. Aunque se espera que a mayor densidad, la resistencia a la compresión diametral aumente, los resultados no presentaron relación entre estos dos parámetros.

En la tabla también se observa que las BSR y BHO presentan los valores más altos de resistencia a la compresión diametral, esto indica que en condiciones de almacenamiento y transporte, estas briquetas soportan mayor presión que la BES, BM1 y BM2, presentando menores daños por fractura. Las pruebas de resistencia a la compresión axial mostraron que las briquetas pueden soportar altas presiones sin presentar fractura.

Tabla 5. Prueba mecánica de resistencia a la tracción diametral.

Muestra	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la compresión diametral (MPa)
BSR	16,282 ± 0,231	55,042 ± 0,103	26,451 ± 0,013	682,74	0,121
BES	13,459 ± 0,153	55,172 ± 0,105	26,427 ± 0,673	821,31	0,025
BHO	13,668 ± 0,212	54,915 ± 0,145	27,098 ± 0,192	837,07	0,115
BM1	14,221 ± 0,248	55,072 ± 0,151	27,263 ± 0,361	804,81	0,057
BM2	13,849 ± 0,223	55,019 ± 0,147	26,967 ± 0,208	819,03	0,048

Respecto a las propiedades químicas de las briquetas, estas se determinaron a través del análisis próximo, último y poder calorífico, como se presenta en la tabla 6. El análisis próximo de las briquetas muestra que las BES tienen la mayor concentración de CF (22.15 %), seguidas por las BM1 (17.22 %) y BM2 (17.52 %). El mayor porcentaje de MV se presenta en las BHO (84.98 %) y BSR (81.82 %), mientras que la mayor cantidad de cenizas se encuentran en las BES (6.21 %). El porcentaje de humedad es similar en todas las briquetas, donde el rango varía entre 5.72 y 6.86 %, valores que corresponden a las BHO y BM2, respectivamente.

En los resultados del HHV, mostrados en la tabla 6, las BHO (21,89 MJ/kg) reportan el mayor contenido energético, seguidas por la BM1 (20,15 MJ/kg) y BM2 (20,63 MJ/kg). El mayor HHV en las BHO es congruente con los datos del análisis último, debido a que estas briquetas tienen el mayor porcentaje de C e H y menor contenido de O, respecto a las otras muestras. Lo anterior significa que en su estructura se encuentra mayor número de enlaces C-H, los cuales liberan más energía que los C-O, cuando son sometidos a combustión. La relación entre el HHV y el análisis último también se

Tabla 6. Análisis próximo, último y poder calorífico de las briquetas.

	Residuo				
	BSR	BES	BHO	BM1	BM2
Análisis próximo					
%HM	6,50	6,30	5,72	6,19	6,82
%MV ^a	81,82	71,65	84,98	79,00	78,58
%CZ ^a	3,34	6,21	2,70	3,79	3,91
%CF ^a	14,85	22,15	12,32	17,22	17,52
MV/CF	5,51	3,23	6,90	4,59	4,49
HHV ^a (MJ/kg)	18,44	18,87	21,89	20,14	20,63
Análisis último					
%C ^b	51,52	54,01	56,20	54,63	54,70
%H ^b	7,35	7,05	8,22	7,64	7,70
%N ^b	0,77	1,86	1,58	1,60	1,63
%S ^b	0,07	0,11	0,14	0,11	0,12
%O ^b	40,30	36,97	33,87	36,02	35,85
Relaciones atómicas					
H/C	1,71	1,57	1,76	1,68	1,60
O/C	0,59	0,51	0,45	0,49	0,47

^aBase seca; ^bbase seca libre de cenizas.

observa en las BSR y BES, las cuales tienen menor concentración de C y mayor contenido de O, respecto a las demás briquetas, indicando que el HHV es menor.

Características energéticas de residuos de uva y combustibles densificados

Una forma de determinar las características energéticas de los residuos es utilizando el índice de reactividad a la combustión, el cual se expresa como la razón entre la MV y el CF (MV/CF). En la figura 4 se presenta un gráfico que compara el índice de reactividad a la combustión de los residuos (D.R.), datos adaptados de la literatura (D.L.) (Gañán, J. *et al.*, 2006; Fiori, L. *et al.*, 2012) y de las briquetas (D.B.) incluidas las de las dos mezclas estudiadas. Para las semillas no se reporta el dato de MV/CF para su respectiva briketa, porque esta no fue posible elaborarla. En el gráfico se observa que todos los residuos muestran un índice de reactividad mayor a los reportados en la literatura y a los datos de las briquetas. También se encuentra que los SR y los ES reducen su reactividad a la combustión cuando son sometidos al proceso de densificación, mientras que los HO experimentan un aumento en la reactividad al experimentar dicho proceso. Esto indica que posiblemente los residuos analizados tienen una temperatura de ignición más baja, haciéndolos más reactivos, ya que hay una mayor disponibilidad de MV, cuyos compuestos son los primeros en ser liberados y quemados en el proceso de combustión.

En la figura 4 también se observa que la diferencia entre los índices de reactividad a la combustión de los HO es mayor que las presentadas por los otros residuos. Esta diferencia posiblemente se debe a que los HO de la literatura (Zoecklein, B.W. *et al.*, 2001) provienen del proceso de vinificación, lo cual implica que los HO estuvieron expuestos durante un determinado periodo de tiempo a actividad microbiana, enzimática y cambios de temperatura que hacen que su composición química se modifique (Zoecklein, B.W. *et al.*, 2001).

Al comparar el índice de reactividad a la combustión entre los residuos, se observa que los HO son los residuos más reactivos y los ES los menos reactivos. Este mismo comportamiento se observa para las briquetas. Respecto a las mezclas de residuos, en la figura 4 se aprecia que el índice de reactividad a la combustión es similar en ambos casos, al igual que sus valores de HHV como se observa en la tabla 6. Esto confirma el hecho que las mezclas estudiadas son similares en-

tre sí, por lo que se recomienda no hacer separación de residuos y trabajar con la mezcla 1.

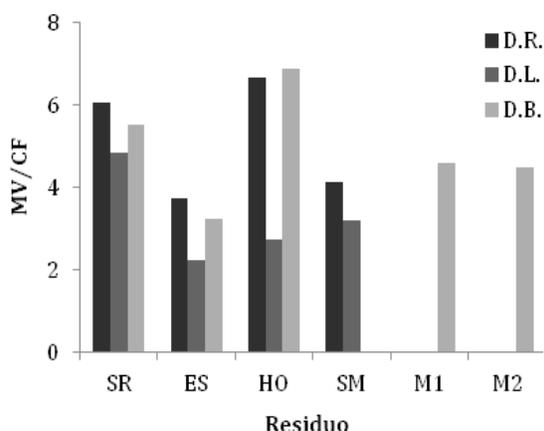


Figura 4. Índice de reactividad de los residuos de uva. D.E.: datos experimentales; D.L.: datos adaptados de la literatura (Gañán, J. *et al.*, 2006; Fiori, L. *et al.*, 2012); y D.B.: datos de las briquetas.

Otra forma de establecer las características energéticas de la biomasa, es por medio de la relación que existe entre el análisis último y el calor de combustión o poder calorífico a través del diagrama tipo Van Krevelen (Yin, C. Y., 2011; Callejón-Ferre, A. J. *et al.*, 2011; Vargas-Moreno, J. M. *et al.*, 2012), como se presenta en la figura 5. En este diagrama se observa que las SM son los residuos más cercanos al origen, mientras que los SR y ES están más alejados. Esta ubicación en el plano cartesiano indica que las SM tienen mayor poder calorífico que el resto de residuos, debido a que la menor proporción de O e H comparada con el C, permite que se produzcan más enlaces C-C, los cuales contienen mayor energía que los enlaces C-O y C-H (Gañán, J. *et al.*, 2006). Esta información es congruente con el poder calorífico presentado en la tabla 4, donde se observa que las SM tienen el mayor calor de combustión.

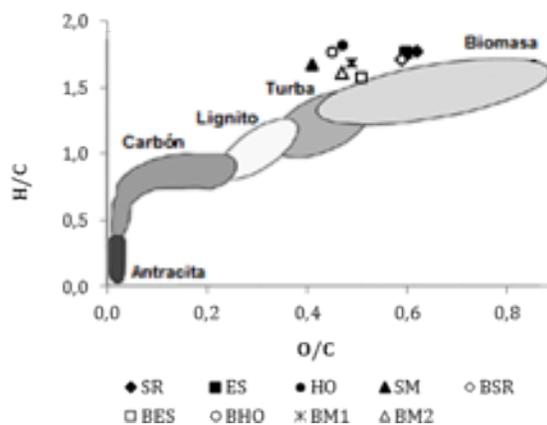


Figura 5. Diagrama tipo Van Krevelen. (Adaptado de Basu, 2010).

Al comparar entre las briquetas, se observa que todas se localizan muy cercanas entre sí, exceptuando la BSR que es la briqueta que más se aleja del punto de origen. Igualmente se aprecia que el proceso de densificación favorece la concentración de energía en los residuos de ES, HO y las mezclas entre los cuatro residuos, lo cual presenta una posibilidad de emplear las semillas en la generación de energía haciendo parte de las briquetas.

CONCLUSIONES

La comparación entre los residuos individuales mostró que las semillas tienen las mejores características para ser empleadas en procesos termoquímicos como la combustión y la pirólisis. Esto se debe a que las semillas muestran baja humedad y mayor HHV, respecto a los otros residuos.

El proceso de densificación incrementa el valor energético respecto a los residuos originales. Como es el caso principal de los HO que tienen el mayor aumento de HHV con la producción de briquetas.

Las briquetas de la mezcla 1 son una alternativa interesante para incrementar el valor energético de los residuos ya que el HHV es mayor que las briquetas de los residuos individuales. Además, si se utiliza esta mezcla, no hay necesidad de separar los hollejos y semillas que se generan en la producción de pulpa de uva, lo cual disminuye costos de producción de las briquetas.

Entre los residuos analizados, los HO presentan las mejores características energéticas para ser quemado directamente o someterlos a una previa densificación, debido a su alto HHV e índice de reactividad a la combustión. Sin embargo, el sistema de combustión debe tener acoplado equipos de reducción de emisiones NO_x y SO_x , porque es el residuo con los mayores contenidos de N y S en su estructura.

La densificación de la mezcla de los residuos generados en el cultivo y procesamiento de la uva favorece: i) el aprovechamiento de las semillas en la generación de energía, dado que estas individualmente no son posibles de densificar por su contenido de aceite; y ii) aumenta el contenido energético de los SR y de su respectiva briqueta.

Los análisis próximo y último pueden ser útiles en el estudio de la biomasa para su uso en procesos termo-

químicos como combustión, pirólisis y gasificación. Sin embargo, dada la complejidad de los mecanismos de reacción de estos procesos, es necesario recurrir a análisis como la termogravimetría, los cuales permiten establecer de una manera general el comportamiento de la biomasa bajo condiciones específicas de degradación térmica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo económico mediante financiamiento del proyecto de investigación titulado "Evaluación del potencial energético y bioactivo de los residuos generados por la producción y transformación de la uva", con código 18921, y a la Universidad del Valle por la prestación de sus servicios técnicos al proyecto.

REFERENCIAS

- Agronet. Producción de uva en Colombia. (2011). Tomado de: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx> [Consulta: 30 de julio de 2014].
- Basu P. (2010). *Biomass characteristics: Biomass gasification and pyrolysis*. Oxford, Elsevier.
- Callejón-Ferre, A. J., Velázquez-Martí, B., López-Martínez, J. A., & Manzano-Agügliaro F. (2011). Greenhouse crop residues: energy potential and models for the prediction of their higher heating value. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 48-55.
- Chen, L., Xing, L., & Han, L. (2009). Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2689-2695.
- Chou, C. S., Lin, S. H., Peng, C. C., & Lu, W. C. (2009). The optimum conditions for preparing solid fuel briquette of rice straw by a piston-mold process using the Taguchi method. *Fuel Processing Technology*, 90, 1041-1046.
- Da Porto, C., Porretto, E., & Decorti D. (2013). Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 1076-1080.

- Fiori, L., Valbusa, M., Lorenzi, D., & Fambri, L. (2012). Modeling of the devolatilization kinetics during pyrolysis of grape residues. *Bioresource Technology*, 103, 389-397.
- Gañán, J., Al-Kassir, A., Cuerda, E. M., & Macías-García, A. (2006). Energetic exploitation of vine shoot by gasification processes a preliminary study. *Fuel Processing Technology*, 87, 891-897.
- Jiménez-Cordero, D., Heras, F., Alonso-Morales, N., Gilarranz, M.A., & Rodríguez J. J. (2014). Preparation of granular activated carbons from grape seeds by cycles of liquid phase oxidation and thermal desorption. *Fuel Processing Technology*, 118, 148-155.
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33, 337-359.
- Mediavilla, I., Fernández, M. J., & Esteban, L. S. (2009). Optimization of pelletisation and combustion in a boiler of 17.5 kW for vine shoots and industrial cork residue. *Fuel Processing Technology*, 90, 621-628.
- Peralbo-Molina, A., & Luque de Castro, M. D. (2013). Potential of residues from the Mediterranean agriculture and agrifood industry. *Trends in Food Science & Technology*, 32, 16-24.
- Spinelli, R., Nati, C., Pari, L., Mescalchin, E., & Magagnotti, N. (2012). Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues. *Applied Energy*, 89, 374-379.
- Toaldo, I. M., Fogolari, O., Pimentel, G. C., Santos de Gois, J., Borges, D. L. G., Caliar, V., & Bordignon-Luiz M. (2013). Effect of grape seeds on the polyphenol bioactive content and elemental composition by ICP-MS of grape juices from *Vitis labrusca* L. *Food Science and Technology*, 53, 1-8.
- Toscano, G., Riva, G., Duca, D., Pedretti, E. F., Corinaldesi, F., & Rossini, G. (2013). Analysis of the characteristics of the residues of the wine production chain finalized to their industrial and energy recovery. *Biomass and Bioenergy*, 55, 260-267.
- Valente, M., Brillard, A., Schönnenbeck, C., & Brillhac, J. F. (2015). Investigation of grape marc combustion using thermogravimetric analysis. Kinetic modeling using an extended independent parallel reaction (EIPR). *Fuel Processing Technology*, 131, 297-303.
- Vargas-Moreno, J. M., Callejón-Ferre, A. J., Pérez-Alonso, J., & Velázquez-Martí, B. (2012). A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3065-3083.
- Velázquez-Martí, B., Fernández-González, E., López-Cortés, I., & Salazar-Hernández, D. M. (2011). Quantification of the residual biomass obtained from pruning of vineyards in mediterranean area. *Biomass and Bioenergy*, 35, 3453-3464.
- Yin C. Y. (2011). Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. *Fuel*, 90, 1128-32.
- Zoecklein, B. W., Fugelsang, K. C., Gump, B. H., & Nury, F. S. (2001). *Compuestos fenólicos y color del vino: Análisis y Producción de Vino*. Zaragoza, Acribia.

Impactos ambientales negativos generados por el uso de palancas para fortificación de minas, sector carbonífero

Mónica Alejandra Moreno Machado,^{*1} Jorge Enrique Arenas Hernández,²
Jacipt Alexander Ramón Valencia³

¹Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo de Investigaciones Ambientales, Agua Aire y Suelo – GIAAS, Pamplona, Colombia. Correo electrónico: monik20011@hotmail.com

²Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental Colombiana CORPONOR, Subdirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, Licenciamiento Ambiental, Calle 13 Av. El Bosque 3E-278 Cúcuta, Colombia. Correo electrónico: jarenas2004@yahoo.es

³Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona - Norte de Santander, Colombia. Correo electrónico: jacipt@unipamplona.edu.co

RESUMEN

La investigación apunta al conocimiento del impacto ambiental negativo generado por el uso de palancas en la actividad minera subterránea en el período 2006-2013 en el departamento de Norte de Santander. La fecha de otorgamiento de las licencias ambientales permitió definir con precisión los volúmenes de explotación y en consecuencia las cantidades de madera necesarias para la construcción de las estructuras de fortificación, más específicamente las palancas. A la fecha de la investigación se encuentran activas ciento treinta y siete (137) licencias de minería de carbón cuya presencia se hace en diecisiete de los cuarenta municipios de la jurisdicción. Los municipios de Cúcuta, El Zulia y Sardinata poseen el 62 % de las concesiones. En cuanto al uso de la madera para la fortificación de las minas, tan solo el 29.5 % es de origen legal. En la actividad utilizan setenta y seis tipos de madera de diferentes especies, sin embargo la especie de mayor uso es la pino pátula (*Pinus patula*) con el 38.6 % de preferencia. Con respecto a la pérdida de cobertura vegetal en el área de intervención, se realizó una revisión documental de todos y cada uno de los títulos mineros que en el período investigado estuvieran realizando explotación de carbón. Posteriormente se evaluó cada título minero, determinando que la deforestación en el período de estudio alcanzó 449 hectáreas equivalente al 1.55 % del área ocupada por la concesión. De igual manera se pudo establecer que desde 1990 a 2006 se deforestaron 4.824 hectáreas que corresponden al 18 % del área total de los títulos mineros explotados. La autoridad ambiental inició procesos ambientales sancionatorios al 14 % de los usuarios en el 2012 y al 10.6 % de usuarios en el 2013.

Palabras clave: ambiental, palancas de madera, deforestación, minería.

Editor: Hernández Fernández, J.

Citation: Moreno, M., Arenas, J. y Ramón, J. (2015). Impactos ambientales negativos generados por el uso de palancas para fortificación de minas, sector carbonífero. *Revista Mutis 5(2)*; págs 16-38.

Received: August 2, 2015. **Accepted:** September 5, 2015. **Published online:** December 31, 2015.

Copyright: ©2015 Moreno, M., Arenas, J. & Ramón, J. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Negative environmental impacts generated by the use of levers paragraph fortification of mines, coal sector

ABSTRACT

The research points to the knowledge of the negative environmental impact caused by underground mining in the period 2006-2013 in the North Department of Santander. The date of granting of environmental licenses allowed precisely



define the operating volumes and consequently the amount of wood needed to build fortification structures, specifically the levers. At the time of the investigation are active hundred thirty seven (137) coal mining licenses whose presence is in seventeen of the forty municipalities of jurisdiction. The municipalities of Cucuta, El Zulia and Sardinata possess 62 % of the concessions. Regarding the use of wood for the fortification of the mines, only 29.5% are of legal origin. The activity used seventy six types of wood from different species, but the species is the most widely used patula pine (*Pinus patula*) with 38.6 % preference. With regard to the loss of plant cover in the intervention area, a desk review of each and every one of the mining titles during the investigation period they were made coal mining took place. Subsequently evaluated each mining title, determining that deforestation in the study period reached 449 hectares equivalent to 1.55 % of the area occupied by the concession. Similarly it was established that from 1990 to 2006 4,824 hectares corresponding to 18 % of the total area of mining exploitation titles were deforested. The environmental authority began sanctioning environmental processes 14 % of users in 2012 and to 10.6 % of users in 2013.

Keywords: environmental, wooden levers, development, deforestation, mining.

INTRODUCCIÓN

La explotación de carbón en el Norte de Santander se inició de manera significativa aproximadamente en el año 1984, previamente a la puesta en marcha de la central termoeléctrica Termotasajero 1, ubicada en el municipio de San Cayetano (Norte de Santander) y cuyos requerimientos son del orden de trescientos cincuenta mil (350.000) toneladas de carbón al año.

Dicha demanda dio origen a la actividad minera subterránea la cual extrae el mineral amparada con licencia ambiental y en la actualidad son ciento treinta y siete (137) usuarios entre personas naturales y jurídicas dedicadas a esta actividad. La información de cada usuario, es llevada celosamente en un expediente, lugar donde es archivado el historial documental.

Algunos trabajos de investigación como el “Estudio técnico ambiental de las estructuras principales de

fortificación usadas en la minería de carbón de Norte de Santander” (León, 2015), han tratado el tema de la fortificación de las minas desde una óptica estructural, pero a la fecha no se encontraron evidencias que permitan establecer cifras confiables relacionadas con cantidades y especies de madera utilizadas, aspecto que cobra especial importancia y orientación para los diferentes actores que pudieran intervenir en tan importante actividad.

El proceso de investigación escogido tiene un alcance que va desde la captura de información en la fuente primaria, considerando que toda la información derivada del trámite para otorgamiento de la licencia ambiental, reposa en las dependencias de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental Colombiana (Corponor).

Similar proceso se utilizó en la Agencia Nacional Minera (ANM), punto de atención regional Cúcuta, puesto que se realizó una revisión documental de la madera propuesta por el solicitante de la concesión minera, para obtener el documento que le permite la actividad, habida cuenta que los Programas de Trabajo y Obras (PTO) reposan en dicha agencia.

Período del análisis de la información

Aunque la actividad minera en el departamento tuvo su inicio a finales del año 1984 (Termotasajero, 2008), la información que reposa en las diferentes dependencias es pobre por cuanto no existían las herramientas informáticas que pudieran almacenarla y por otro lado, el gobierno nacional extinguió entidades como el Instituto Nacional de Recursos Naturales (Inderena) responsable del manejo y protección de los recursos naturales y trasladó sus funciones a las corporaciones autónomas regionales. Por otra parte, creó la Agencia Nacional Minera (ANM), que recibió los expedientes de la Secretaría de Minas del departamento de Norte de Santander en el año 2012.

Por lo anterior, el alcance de la investigación comprende el período 2006-2013, por cuanto existe coherencia en la información tomada de los formatos *raster* del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam, 2011) y la información documental que reposa tanto en la ANM seccional Cúcuta como en Corponor.

Participación de los municipios en la actividad minera del departamento

El Norte de Santander está compuesto por cuarenta (40) municipios, de los cuales diecisiete (17) evidencian actividad minera subterránea, sin embargo y pese a que la intervención se realiza casi en la mitad del departamento, el impacto se concentra en tres municipios fundamentalmente, a saber: Cúcuta, El Zulia y Sardinata que suman en total ochenta y seis (86) títulos que equivalen al 62 % de las licencias ambientales otorgadas.

Dentro del segmento de estudio, la autoridad ambiental Corponor otorgó ciento diecinueve (119) licencias ambientales que corresponden a 26.103 hectáreas, de los cuales Cúcuta (rural) tiene concesionadas 8.254,34 hectáreas para 29 títulos mineros. El dato contrasta con el promedio aritmético de la relación título minero-extensión cuyo valor es de 143 comparado con municipios como Toledo cuya relación es cuatro veces más y por lo tanto el impacto ambiental negativo derivado del ejercicio de la explotación es determinado en detalle cómo se muestra en la figura 1.

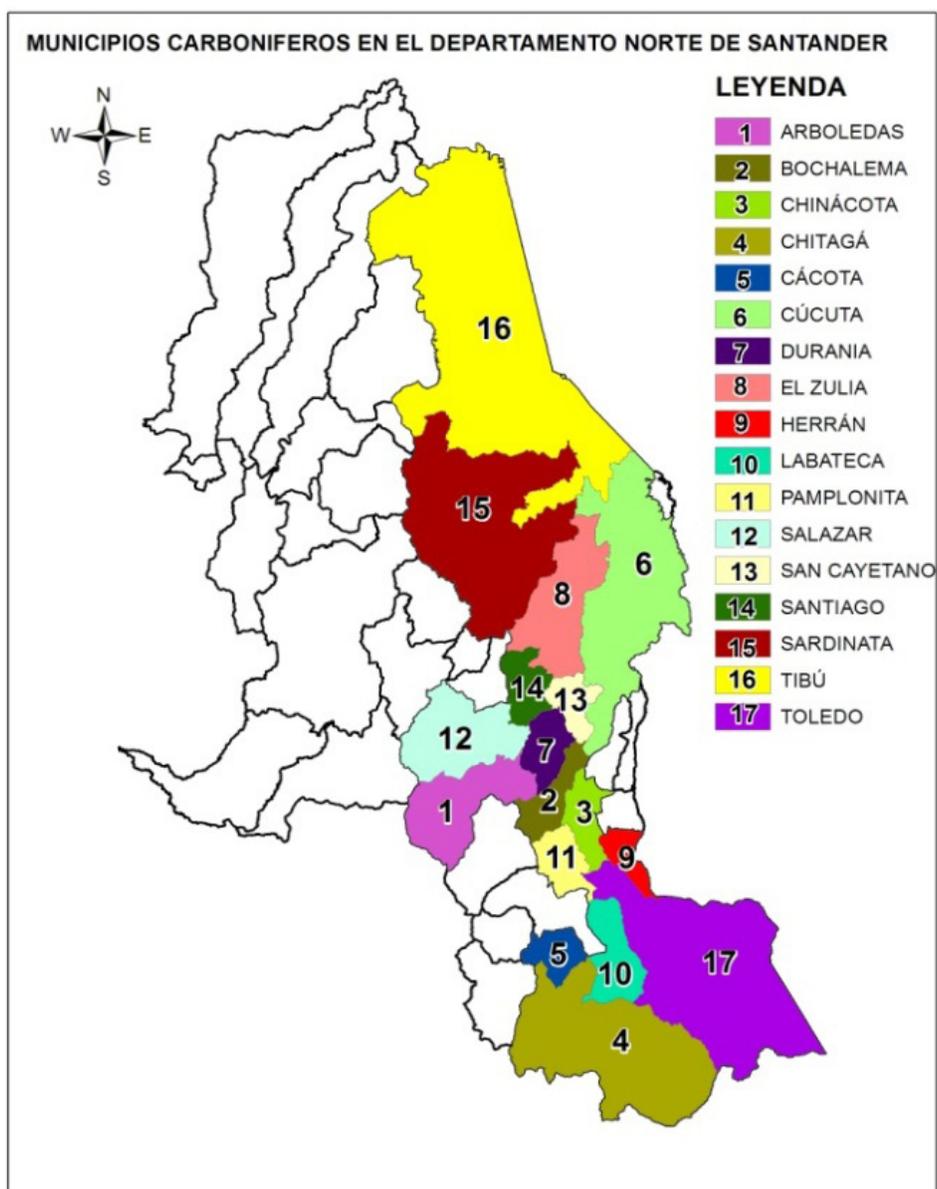


Figura 1. Municipios carboníferos en el departamento de Norte de Santander.

Fuente: (SIG-Corponor, 2015).

Tabla 1. Año de otorgamiento de las licencias ambientales por municipio.

MUNICIPIO	OTORGAMIENTO DE LA LICENCIA AMBIENTAL							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ARBOLEDAS		1				1		
BOCHALEMA		1			1			
CÁCOTA				1				
CHINÁCOTA				1				
CHITAGÁ				1				
CÚCUTA	3	6	6	6	3	5	3	
DURANIA			1	2	1	1		1
EL ZULIA	2	3	8	8		3	1	
HERRÁN		1						
LABATECA					2	2		
PAMPLONITA						1		
SALAZAR			2			2		
SAN CAYETANO			1	2	1	2		
SANTIAGO			1	2	1			
SARDINATA			1	2	1	3		
TIBÚ	5	2	2	8			1	
TOLEDO						2		
TOTAL	10	14	22	33	10	22	7	1

Fuente: Sistema de información para el manejo de procesos operativos software de control interno ambiental (SISPRO-Corponor, 2015).

Fortificación minera

Para realizar la actividad minera subterránea, se requiere la construcción de puertas alemanas (Pinzón, 2013) y demás elementos que conforman la fortificación, como lo son: el capiz, los tiples, las cuñas y las palancas propiamente dichas. El tema de la deforestación se enfoca a las palancas de madera porque a pesar de ser la estructura inclinada que soporta el capiz o parte superior de la puerta, se trata de la misma madera rollada. De igual manera, se utilizará madera con similares características para la instalación de los “tiples” que son los elementos que van longitudinalmente entre cada puerta. En conclusión y para efectos del cálculo de la madera utilizada, se nombrará la palabra “palanca” para identificar la madera que se aprovecha forestalmente.

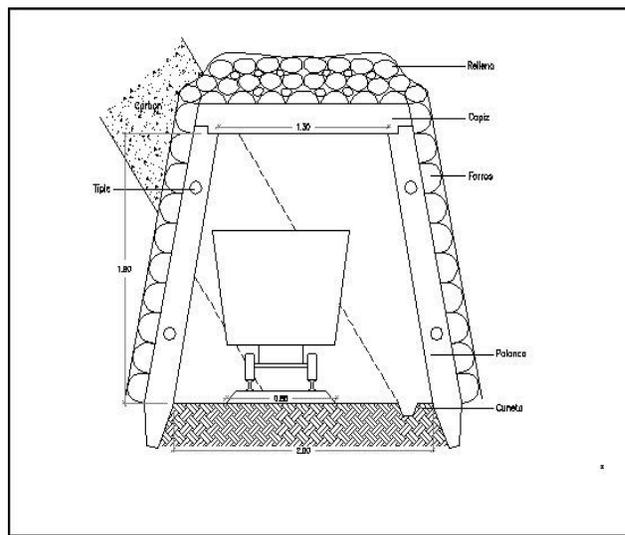


Figura 2: Esquema de una puerta alemana con sus componentes.

Fuente: (planospara.com, 2013).

Requerimientos de madera para realizar la actividad minera subterránea

Con base en concepto de expertos aplicado dentro de la metodología de investigación, se pudo establecer que las minas de Norte de Santander poseen estructuras variables internas, debido a la heterogeneidad de los mantos que poseen las montañas intervenidas en la excavación. Es decir, no todos los túneles tienen estructuras uniformes y por lo tanto, durante el proceso de excavación se determinan las necesidades de madera para su apalancamiento.

Una revisión detallada de los expedientes del sector, permitió determinar las necesidades de madera acorde con la proyección de explotación. No obstan-

te, dicha proyección requirió una valoración orientada a conocer los verdaderos requerimientos de madera con base en la explotación de carbón reportada anualmente en la Agencia Nacional Minera (ANM).

De igual manera, se hizo necesario conocer el volumen de madera movilizada legalmente, amparada por el respectivo salvoconducto nacional para la movilización de productos primarios provenientes de plantaciones forestales expedido por la Corporación. Para calcular el valor, se requirió digitar los datos correspondientes a dos mil cuatrocientos un (2401) salvoconductos, que hacen parte de los ciento diecinueve (119) usuarios que poseen licencia ambiental en el período estudiado. Dichos valores se reflejan en la tabla 2.

Tabla 2. Cálculo de volúmenes de madera ilegal utilizada en la actividad minera.

MUNIC IPIO	VOLUMEN DE MADERA REQUERIDO (m ³ /años de explotación desde el año 2006 a 2013)	VOLUMEN DE MADERA QUE IN- GRESA AL MUNICIPIO REGISTRA- DO EN LAS GUÍAS Año 2006-2013 (m ³)	VOLUMEN DE MADERA ILEGAL Año 2006-2013 (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4) (2-3)
CÚCUTA	19.886,40	3.782,68	16.103,72
EL ZULIA	12.454,50	378,44	12.076,06
SARDINATA	8.750,00	1.706,41	7.043,60
SAN CAYETANO	2.250,00	710,78	1.539,22
SALAZAR	3.147,70	159,12	2.988,58
DURANIA	2.750,00	570,37	2.179,63
SANTIAGO	1.909,10	1.077,22	831,88
TOLEDO	1.386,40	1.335,51	50,89
LABATECA	1.090,90	63,00	1.027,90
PAMPLONITA	977,30	1.491,26	(513,96)
BOCHALEMA	1.663,60	4.708,81	(3.045,21)
CÁCOTA	590,90	204,35	386,55
HERRÁN	784,10	-	784,10
ARBOLEDAS	568,20	9,00	559,20
CHITAGÁ	181,80	382,74	(200,94)
CHINÁCOTA	818,20	799,65	18,55
TIBÚ	45,50	96,30	(50,80)
	59.254,60	17.475,63	41.778,97

Fuente: autores.

La tabla anterior se interpreta de la siguiente manera:

Cincuenta y nueve mil doscientos cincuenta y cuatro con sesenta (59.254,60) metros cúbicos de madera es el volumen requerido por los 119 usuarios que explotan carbón en las minas subterráneas del departamento de Norte de Santander.

Diecisiete mil cuatrocientos setenta y cinco con sesenta y tres (17.475,63) metros cúbicos de madera, es el volumen que evidencia su legalización mediante el respectivo salvoconducto de movilización, equivalente al 29,5 % del total requerido. Esta madera, corresponde a los aprovechamientos forestales debidamente autorizados y tiene el amparo documental de la autoridad ambiental. Los mismos, corresponden a plantaciones de diferentes especies que logrado su período de madurez son talados para su comercialización, manteniendo la estructura de sostenibilidad.

Cuarenta y un mil setecientos setenta y ocho con noventa y siete (41.778,97) metros cúbicos de madera, es la cantidad que se presume ilegal por cuanto en la revisión documental no se encontró soporte para su utilización. Dicho valor equivale al 70,5 %, constituyéndose en uno de los resultados más importantes de la investigación.

El departamento de Norte de Santander es una región rica en biodiversidad. En materia del recurso bosque, se encuentran varias especies que son utilizadas en la fortificación minera y por tal motivo se digitó la información que reposa en la dependencias de la autoridad ambiental con el objeto de conocer la totalidad de especies que son movilizadas. Es de anotar que la relación consignada en la tabla N° 3 define las especies y el destino pero en ningún caso, la ley obliga al usuario que posee permiso de aprovechamiento forestal a definir el destino exacto de la madera. En conclusión, se conoce el municipio destino pero no el usuario minero.

Tabla 3. Volumen y especies de madera utilizadas como palancas para la fortificación minera en el departamento de Norte de Santander.

ESPECIE		VOLUMEN DE MADERA INGRESADA AL MUNICIPIO APROVECHADA COMO PALANCAS
NOMBRE COMÚN (1)	NOMBRE CIENTÍFICO (2)	AÑO 2006-2013 (m ³) (3)
PINO PÁTULA	<i>Pinus patula</i>	6755
FRUTO DE BURRO	<i>Xylopiya aromatica</i>	2768
EUCALIPTOS	<i>Eucaliptus grandis</i>	1594
AMARILLÓN	<i>Terminalia amazonia</i>	1183
CEDRILLA	<i>Brunellia subssesilis</i>	701
SOMBRERITO	<i>Cordia Sp.</i>	692
DANTO	<i>Sideroxylon capiri</i>	621
CURO MACHO	<i>Ocotea Sp.</i>	432
NÍSPERO	<i>Manilkara sapota</i>	294
GUAMO	<i>Inga densiflora Benth</i>	264
OTRAS ESPECIES*		2173
TOTAL		17476

Fuente: autores de la investigación.

De la tabla 3, se puede concluir que las especies pino pátula (*Pinus patula*), fruto de burro (*Xylopiya aromatica*), eucalipto (*Eucaliptus*) y amarillón (*Terminalia amazonia*), son las que tienen mayor demanda en dicha actividad, siendo el pino pátula el que obtiene el 36 % del uso con un volumen de seis mil setecientos

cincuenta y cinco (6.755) metros cúbicos de madera para palancas.

El ítem “otras especies” está compuesto por sesenta y seis (66) especies diferentes cuyo detalle se encuentra en la tabla N° 4.

Tabla 4. Especies de madera utilizadas en el departamento de Norte de Santander para la fortificación de la minería subterránea.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	VOLUMEN DE MADERA INGRESADA A LOS MUNICIPIOS APROVECHADA 2006-2013 (m³)
(1)	(2)	(3)
PINO PÁTULA	<i>Pinus patula</i>	6755
FRUTO DE BURRO	<i>Xylopia aromatica</i>	2768
EUCALIPTO	<i>Eucaliptus grandis</i>	1594
AMARILLÓN	<i>Terminalia amazonia</i>	1183
CEDRILLA	<i>Brunellia subssesilis</i>	701
SOMBRERITO	<i>Cordia Sp.</i>	692
DANTO	<i>Sideroxylon capiri</i>	621
CURO MACHO	<i>Ocotea Sp.</i>	432
NÍSPERO	<i>Manilkara sapota</i>	294
GUAMO	<i>Inga densiflora Benth</i>	264
CABO DE PALA	<i>Ocotea Sp.</i>	155
ESCOBITO	<i>Xylopia ligustrifolia</i>	145
PEGACHENTO	<i>Schizolobium parahyba</i>	118
ABARCO	<i>Cariniana pyriformis</i>	111
AREVALO	<i>Cupania americana</i>	109
PAVITO	<i>Jacaranda copaia</i>	109
VARECASA	<i>Laetia procera</i>	97
TREMENTINO	<i>Protium crenatum</i>	91
HIGUERON NEGRO	<i>Pseudolmedia Sp.</i>	90
AGUACACHO	<i>Vismia Sp.</i>	76
CURO	<i>Persea Sp.</i>	71
SANGRO	<i>Vismia guianensis</i>	70
COPILO	<i>Heliocarpus Sp.</i>	70
GUACHARACO	<i>Cupania cinerea</i>	67
LLORÓN	<i>Miconia dolichorrhyncha</i>	61
CANELÓN	<i>Persea mutisiih.Vk</i>	59
LUSCUA	<i>Mabea Sp.</i>	46
MANO DE TIGRE	<i>Schefflera morototoni</i>	41
BIJO	<i>Trichilia Sp.</i>	39
CARTAGENO	<i>Eschweilera Sp.</i>	35
TECÓN	<i>Machaerium Sp.</i>	30
QUEBRANCHO	<i>Astronium graveolens</i>	28
URAPÁN	<i>Fraxinus chinensis</i>	27
TATAMACO	<i>Protium insigne</i>	27
MENUDITO	<i>Ochroma lagopus</i>	26
ESCUBILLO	<i>Cupania dentata</i>	21

TUSCA BLANCO	<i>Pseudolmedia Sp.</i>	20
JAGUA	<i>Genipa americana</i>	20
ALGARROBILLA	<i>Pithecelobium parrifolium</i>	19
TERMINALIA	<i>Terminalia ivorensis</i>	17
ALISO	<i>Alnus acuminata</i>	17
ALMANEGRA	<i>Clathrotropis brachypetala</i>	17
TROMPILLO	<i>Guarea Sp.</i>	15
BUCHESAPO	<i>Goupia glabra</i>	14
MATAPALO	<i>Coussapoa Sp.</i>	13
SAMÁN	<i>Pithecellobium saman</i>	13
ANACAO	<i>Erythrina fusca</i>	12
GORRO DE LANA	<i>Cordia Sp.</i>	11
TÁMPANO	<i>Clusia Sp.</i>	11
ARRAYÁN	<i>Myrcianthes leucoxylon H</i>	11
MAZAMORRO	<i>Alchornea Sp.</i>	11
VARASANTA	<i>Triplaris americana</i>	10
MANTEQUILLO	<i>Humiriastrum colombianum</i>	9
NIM	<i>Azadirachta indica</i>	8
CRISTALINO	<i>Diploporis purpura</i>	8
MULATO	<i>Bunchosia Sp.</i>	8
GUAYABÓN	<i>Terminalia oblonga</i>	7
SURURO	<i>Myrcia Sp.</i>	7
CAIMITO TURMA	<i>Pouteria eugeniifolia</i>	7
GRANADILLO	<i>Lademburgia Sp.</i>	6
PINO	<i>Pinus Sp.</i>	6
QUITASOL	<i>Jacaranda copaia</i>	6
TACHUELO	<i>Zanthoxylum Sp.</i>	6
CRUCETO	<i>Isertia Sp.</i>	6
ACACIA NEGRA	<i>Acacia decurrens Willd</i>	5
CAÑAGUATE	<i>Tabebuia chrysantha</i>	5
GUÁIMARO	<i>Brosimum Sp.</i>	4
CARAÑO	<i>Trattinickia aspera</i>	4
GUAYACÁN	<i>Tabebuia chrysantha</i>	4
HOJARASCO	<i>Coccoloba Sp.</i>	4
CARBONERO	<i>Calliandra Sp.</i>	3
COCOHEDIONDO	<i>Couroupitta guianensis</i>	3
COLEPISCO	<i>Parkia pendula</i>	3
GUÁSIMO	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2
PARDILLO	<i>Cordia alliodora</i>	1
HIGUERÓN	<i>Ficus insipida</i>	1

Fuente: elaboración propia basados en información de salvoconductos Corponor.

Volumen y especies de madera ingresada al municipio aprovechada para palancas

La madera para fortificación minera proviene de diferentes municipios del Norte de Santander. En la tabla 5 se define la especie más significativa y el volumen de madera que ingresa a cada municipio, información

capturada de los salvoconductos de movilización que reposan en cada expediente minero.

A diferencia de la tabla 4, la información corresponde a las especies de madera movilizada con los respectivos salvoconductos y sus soportes reposan en cada expediente que contiene la licencia ambiental.

Tabla 5. Volumen y especies de madera ingresada al municipio aprovechada para palancas .

MUNICIPIO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	VOLUMEN DE MADERA INGRESADA AL MUNICIPIO APROVECHADA COMO PALANCAS AÑO 2006-2013 (m ³)
CÚCUTA	FLOR DE BURRO	<i>Xylopia aromatica</i>	1294
EL ZULIA	FLOR DE BURRO	<i>Xylopia aromatica</i>	93
SARDINATA	AMARILLÓN	<i>Terminalia amazonia</i>	327
SAN CAYETANO	FLOR DE BURRO	<i>Xylopia aromatica</i>	143
SALAZAR	PINO PÁTULA	<i>Pinus patula</i>	76
DURANIA	ESCOBITO	<i>Xylopia ligustrifolia</i>	127
SANTIAGO	DANTO	<i>Sideroxylon capiri</i>	362
TOLEDO	PINO PÁTULA	<i>Pinus patula</i>	651
LABATECA	EUCALIPTOS	<i>Eucaliptus grandis</i>	37
PAMPLONITA	PINO PÁTULA	<i>Pinus patula</i>	1343
BOCHALEMA	PINO PÁTULA	<i>Pinus patula</i>	3062
CÁCOTA	EUCALIPTOS	<i>Eucaliptus grandis</i>	145
HERRÁN	-	-	0
ARBOLEDAS	EUCALIPTOS	<i>Eucaliptus grandis</i>	9
CHITAGÁ	EUCALIPTOS	<i>Eucaliptus grandis</i>	184
CHINÁCOTA	PINO PÁTULA	<i>Pinus patula</i>	643
TIBÚ	AMARILLÓN	<i>Terminalia amazonia</i>	53

Fuente: elaboración propia basados en información de salvoconductos Corponor.

Las tablas 3 y 4 contienen el volumen y la relación de las especies de madera utilizadas legalmente en la actividad minera subterránea, sin embargo las necesidades son muy superiores, cifra que sería imposible determinar, porque la madera adquirida legal o ilegalmente es utilizada en corto tiempo. Es decir, una vez llega a la mina, los operarios la llevan al interior, lugar donde el control de la autoridad no es posible si se tiene en cuenta que el seguimiento ambiental tiene su alcance en el entorno del lugar más no en el interior.

Variación de la cobertura boscosa por la actividad minera

Cada licencia ambiental está amparada con un título minero que respalda la actividad. Para la identificación, el título minero es otorgado con coordenadas geográficas según el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, densificación del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (MAGNA-SIRGAS) (IGAC, 2008) del tal manera que se genere un polígo-

no y pueda ser registrado en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

La entidad responsable de monitorear la problemática de la deforestación es el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) quien ha presentado los datos históricos de las tasas de deforestación de manera general desde el año 1990 y que en repetidas oportunidad ha manifestado que: “la tala para madera ilegal y la minería criminal son los casos más crónicos de deforestación” (Minambiente-Ideam, 2014) (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2014).

También ha incluido al departamento de Norte de Santander dentro del núcleo N°5 junto con el departamento de Santander, pero a la fecha no se encontró información detallada que evidencie la problemática derivada de la actividad minera legal.

Esa es la visión del Ideam, aunque las cifras encontradas en materia de madera ilegal, corresponden a minería legal y en consecuencia el problema es más complejo, puesto que no solo se trata de combatir la minería ilegal, sino modalidades de ilegalidad para construir las fortificaciones mineras.

Con base en la información del mismo instituto, se procedió a digitalizar la imagen de cobertura vegetal de cada polígono minero para cada período, de tal manera que restando de la superficie total se pudiera calcular la deforestación antes y después de la actividad minera.

Lo anterior, porque no todos los polígonos tienen el mismo período de intervención, habida cuenta que las licencias ambientales se otorgaron en fechas diferentes y por esa razón la presente investigación incluyó el cálculo individual de cada polígono minero para luego totalizar la pérdida o recuperación boscosa por cada municipio en el período 2006-2013.

La escala de procesamiento utilizada por el Ideam fue de 1:100.000. Entre los años 1990 a 2013, se evidencia una pérdida de cobertura de 335,04 hectáreas, cifra calculada dentro de los resultados de la investigación y que es registrada en la figura 3.

Debido a que la actividad minera se inició en el año 2007, se realizó un cálculo aproximado de la deforestación como consecuencia de la actividad minera subterránea, encontrándose que la pérdida del recurso bosque dentro del polígono minero en el período estudiado es de 89,40 hectáreas. Ahora tenemos que

revisado el expediente respectivo, las necesidades de madera para el período 2007-2013 ascienden a 681,8 m³ y la madera que se movilizó con los salvoconductos en el mismo período es de tan solo 88,11 m³, de lo cual se puede concluir que la madera para la fortificación de dicha mina que se presume fue adquirida ilegalmente es de 593,70 m³.

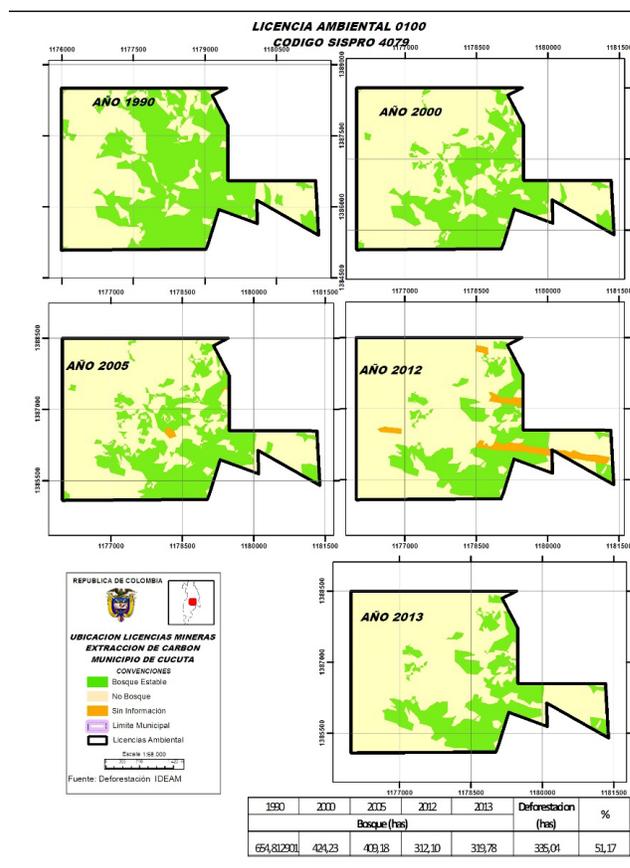


Figura 3. Ejemplo de variación de la deforestación en el período 1990-2013.

Fuente: elaboración propia basados en los mapas de cambio de coberturas de bosque/no bosque (Ideam, 2014).

La conclusión del ejemplo es que antes del otorgamiento del título minero, la deforestación fue de 245,63 hectáreas y entre la fecha del otorgamiento de la licencia ambiental al año 2013, la deforestación fue de 74,14 hectáreas.

También es importante señalar, que durante la investigación se encontraron concesiones en las cuales los procesos de deforestación fueron relativamente bajos y varios de ellos reflejan procesos de recuperación boscosa. El caso más representativo lo constituye el

municipio de Sardinata en el cual se encuentran veintidós (22) concesiones amparadas con licencia ambiental y la pérdida de cobertura vegetal en el período objeto de la investigación es de 0,4 hectáreas.

Uno de los casos se observa en la figura 4 En el período 1990 a 2013 se evidencia recuperación boscosa

por cuanto en el año 1990 la cobertura vegetal era de cero hectáreas y en el año 2013 existían trece (13) hectáreas. Ahora, si se tiene en cuenta que la licencia ambiental se otorgó en el año 2006, se resume que durante el período de explotación objeto de la investigación se recuperó 58,84 % de bosque representado en 7,65 hectáreas.

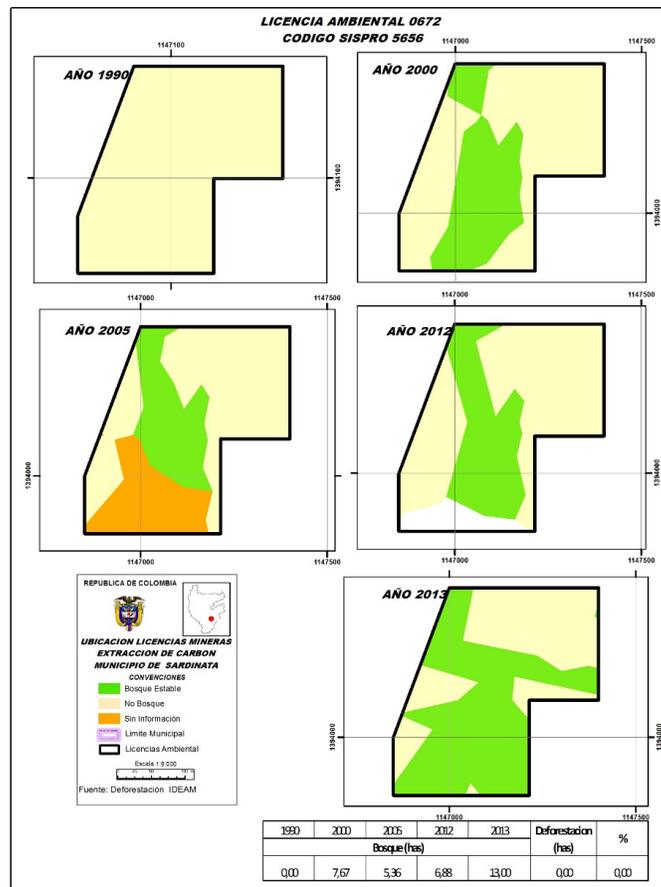


Figura 4. Ejemplo de proceso en el período 1990-2013.

Fuente: elaboración propia basados en los mapas de cambio de coberturas de bosque/no bosque (Ideam, 2014).

La información evaluada permite concluir que la deforestación tenía mayor impacto negativo representado en afectación del recurso bosque, motivo por el cual se puede inferir que aunque no todos los usuarios tuvieron un manejo responsable en el uso de la madera para ser utilizada en la fortificación de las minas, dicho recurso natural no fue aprovechado en el polígono otorgado.

El ejercicio se realizó para los ciento diecinueve (119) polígonos, información que se consigna en el resumen por municipio en la tabla 7.

De la tabla 7 se pueden extraer varias conclusiones entre las cuales cobran especial atención las siguientes:

El total del área concesionada en el período 2006-2013 es de veintisiete mil quinientos cincuenta y cuatro con cinco (27.554,5) hectáreas y la pérdida de cobertura vegetal por acción de la minería legal fue de seiscientos treinta y tres con cuatro (633,4) hectáreas lo cual significa que el porcentaje de deforestación es de 2,30 % para el mismo período.

Tabla 7. Cálculo de la pérdida de cobertura vegetal de cada polígono en el tiempo de explotación por municipio período 2006-2013.

MUNICIPIO	N° DE CONTRATOS MINEROS CON LICENCIA AMBIENTAL VIGENTE	ÁREA CONCESIONADA (ha)	PÉRDIDA DE COBERTURA EN LOS AÑOS DE LA ACTIVIDAD MINERA POR MUNICIPIO (ha)	COBERTURA PERDIDA (%)
			2006-2013	(%)
CÚCUTA	32	9135,9	261,5	2,86
EL ZULIA	25	4620,9	147,1	3,18
SARDINATA	20	1299,3	9,6	0,74
SAN CAYETANO	8	1279,6	11,9	0,93
SALAZAR	6	685,6	6,3	0,92
DURANIA	5	1527,3	27,2	1,78
SANTIAGO	4	586,9	104,4	17,78
TOLEDO	2	1412,5	4,5	0,32
LABATECA	4	1669,9	16,0	0,96
PAMPLONITA	3	365,3	9,2	2,53
BOCHALEMA	2	609,8	3,3	0,54
CÁCOTA	1	57,3	4,7	8,15
HERRÁN	2	358,0	1,2	0,32
ARBOLEDAS	2	835,7	10,8	1,29
CHITAGÁ	1	2522,1	14,2	0,56
CHINÁCOTA	1	437,5	1,8	0,40
TIBÚ	1	150,9	0,0	-
	119	27554,5	633,4	2,30

Fuente: elaboración propia basados en los datos de las licencias ambientales (Sispro-Corponor, 2015), mapas de cambio de coberturas de bosque/no bosque (Ideam, 2014).

Debido a que la investigación procesó imágenes a escala 1:100.000, es probable que de realizar la actividad de verificación en escala 1:5.000 se evidencien mayores afectaciones.

La investigación permitió conocer en detalle lo que algunos autores y entidades presumían en cuanto al grado de afectación del recurso bosque por la actividad minera subterránea, con base en los informes de seguimiento ambiental a los usuarios del sector minero ordenados por el subdirector de Desarrollo Sectorial Sostenible de la

Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental Corponor, uno de los autores de la investigación.

Otro de los motivos de la presunción de la problemática, se derivó de la mínima cifra de solicitudes de salvoconductos para movilización de madera detectadas en la misma entidad, cuyo origen son plantaciones legales que se aprovechan dentro del marco de la normatividad vigente y cuyos datos se consignaron dentro de los resultados del trabajo.

De igual manera se pudo establecer que la deforestación en las coordenadas donde se ubican los títulos mineros objeto de estudio en el período 1990-2006, alcanzó la cifra de cuatro mil ocho-

cientos doce con veintiocho (4.812,28) hectáreas, equivalentes al 17,46 % de la superficie donde se encuentra el polígono minero, información que se resume en la tabla 8.

Tabla 8. Cálculo de la pérdida de cobertura vegetal de cada polígono por municipio período 1990-2006.

MUNICIPIO	N° DE CONTRATOS MINEROS CON LICENCIA AMBIENTAL VIGENTE	ÁREA CONCESIONADA (ha)	PÉRDIDA DE COBERTURA EN LOS AÑOS DE LA ACTIVIDAD MINERA POR MUNICIPIO (ha)	COBERTURA PERDIDA (%)
			1990-2006	(%)
CÚCUTA	32	9135,9	1500,22	16,42
EL ZULIA	25	4620,9	376	8,14
SARDINATA	20	1299,3	52,69	4,06
SAN CAYETANO	8	1279,6	328,15	25,64
SALAZAR	6	685,6	136,15	19,86
DURANIA	5	1527,3	377,3	24,70
SANTIAGO	4	586,9	138,14	23,54
TOLEDO	2	1412,5	317,74	22,49
LABATECA	4	1669,9	275,75	16,51
PAMPLONITA	3	365,3	82,25	22,52
BOCHALEMA	2	609,8	196,16	32,17
CÁCOTA	1	57,3	4,88	8,52
HERRÁN	2	358,0	43,43	12,13
ARBOLEDAS	2	835,7	189,52	22,68
CHITAGÁ	1	2522,1	679,95	26,96
CHINÁCOTA	1	437,5	96,84	22,13
TIBÚ	1	150,9	17,11	11,34
	119	27554,5	4812,28	17,46

Fuente: elaboración propia basados en los datos de las licencias ambientales (Sispro-Corponor, 2015), mapas de cambio de coberturas de bosque/no bosque (Ideam, 2014).

Es decir, que con los datos aportados se puede inferir que efectivamente hay impacto negativo derivado de la actividad pero su ubicación no está aún determi-

nada toda vez que las necesidades para utilización de madera son muy superiores a la madera legalmente movilizada.

Posición de la autoridad ambiental respecto a la problemática

Desde el año 2012 Corponor inició un serio seguimiento a todas las licencias otorgadas, de tal manera que pudo detectar serias anomalías que hoy son objeto de investigaciones al tenor de la Ley 1333 de 2009 “Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones” (Senado, 2009), la dependencia responsable del proyecto: Control y Seguimiento Ambiental, definió un instructivo para captura de información estableciendo una calificación para todas y cada una de las afectaciones ambientales, con base en las visitas de seguimiento. En dicho formato se establece la gravedad del impac-

to a los recursos naturales y se constituye en el principal insumo de aplicación de la norma.

Con respecto a la afectación del recurso bosque, los responsables de la visita a cada mina de la jurisdicción de Norte de Santander, requieren al usuario para que justifique la tenencia de la madera que se utiliza en la actividad. En caso de no respaldar su adquisición, es decomisada de manera preventiva y como consecuencia se califica para el respectivo proceso ambiental sancionatorio. El resultado de la acción se resume en la tabla 9 que indica el número de usuarios a quienes se ha dado inicio a sanciones relacionadas con la no justificación de la madera utilizada para el desarrollo de la actividad minera.

Tabla 9. Resumen de acciones sancionatorias por parte de la autoridad ambiental.

AÑO	2012	2013	REINCIDENTES
USUARIOS SANCIONADOS	19	14	8
PORCENTAJE	14	10,6	57

Fuente: (Sispro-Corponor, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación de carácter descriptivo y causal, por cuanto se debía conocer en detalle el sector de minería subterránea específicamente en lo que hace relación a la utilización de palancas de madera para la construcción de estructuras soportantes; basados en la información suministrada por la Agencia Nacional Minera, punto de atención regional Cúcuta (ANM), y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (Corponor).

ETAPA 1:

Identificar los usuarios de minería de carbón en Norte de Santander que poseen licencia ambiental vigente

Como quiera que la investigación se centra en el uso del recurso bosque, se hizo necesario identificar los usuarios que poseen licencia ambiental para explotación de carbón. La acción se llevó a cabo en la Subdirección de Desarrollo Sectorial Sostenible de Corpo-

nor, dependencia responsable del proceso de evaluación y seguimiento ambiental.

La citada entidad, primera autoridad ambiental del departamento de Norte de Santander, posee un sistema de gestión el cual se ilustra en la figura 5.

El hecho de poseer las certificaciones de calidad, permite a la investigación avanzar con altos índices de confiabilidad informativa. Los expedientes se encuentran debidamente ordenados y foliados. Los mismos poseen toda la información escaneada de tal manera que la consulta se puede realizar en forma física y digital.

La entidad plasmó en los actos administrativos la obligación de actualizar el cronograma de actividades y el plan de manejo con una periodicidad de cinco años, lo cual hace que cada expediente posea miles de folios que debieron ser examinados para encontrar la información que tuvo que ser digitada puesto que se trata de imágenes que contienen información objeto de la investigación.



Figura 5. Sistema de gestión corporativo Corponor
Fuente: www.corponor.gov.co.

Visitas de campo a una muestra del total de las minas legales que existen en el departamento con el fin de evidenciar el uso y origen de la madera utilizada en la fortificación de las bocaminas

Las visitas de campo son el complemento perfecto de este tipo de investigaciones, motivo por el cual se procedió a tomar una muestra representativa de los expedientes activos de tal manera se pudiera evidenciar en campo la utilización de la madera, el tipo de madera, su aprovechamiento, los documentos soportes de la misma... en fin, todas las actividades que son propias de sector minero.

Dicha muestra se tomó con base en el número de licencias otorgadas por municipio. Seguidamente se elaboró una hoja de cálculo con las variables: Volumen proyectado de explotación y Palancas proyectadas, que permitió determinar una muestra en donde la relación palancas/tonelada, tuviera una relación desproporcionada y fueron dichas minas las que se seleccionaron para la muestra, correspondiéndole a Cúcuta, Sardinata y El Zulia el mayor número de visitas.



Figura 6. Bocaminas municipio San Cayetano.
Fuente: autores.

ETAPA 2:

Captura de información consignada en los expedientes existentes en la autoridad ambiental

La extracción de la información en custodia de la autoridad ambiental, se definió mediante la pla-

neación necesaria que permitió reducir los esfuerzos y centrar la atención en lo pertinente para lo cual se definió un diagrama de flujo previamente elaborado y concertado con los autores el cual se presenta a continuación:

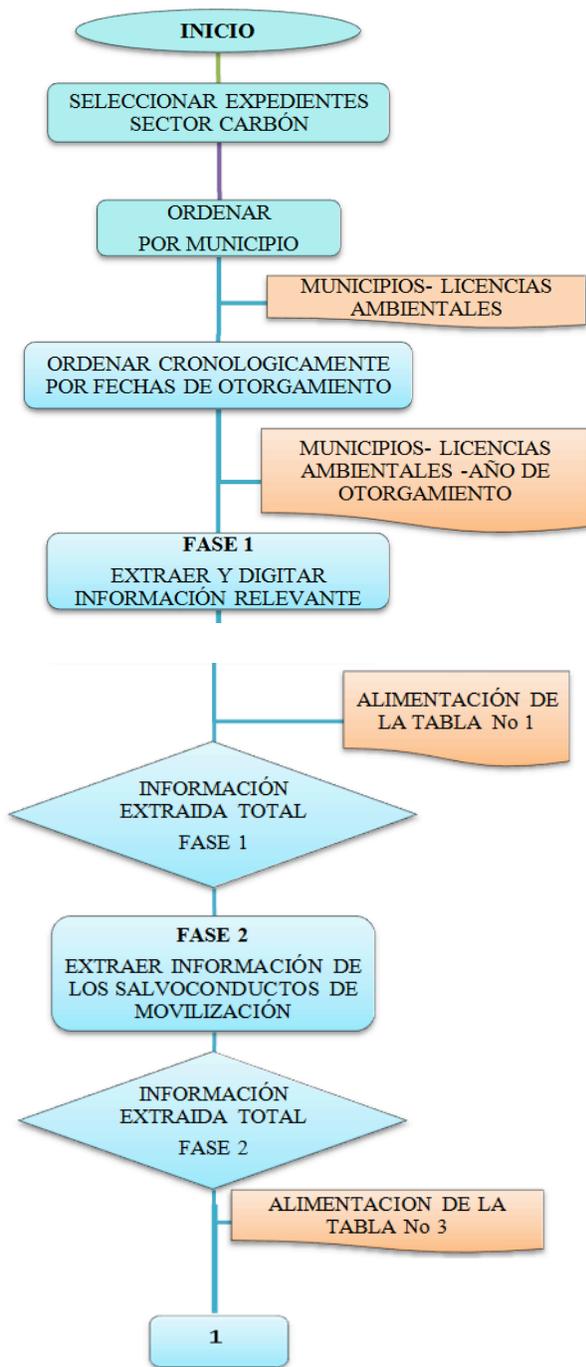


Figura 7. Flujograma explicativo del inicio de la metodología.

Fuente: autores.

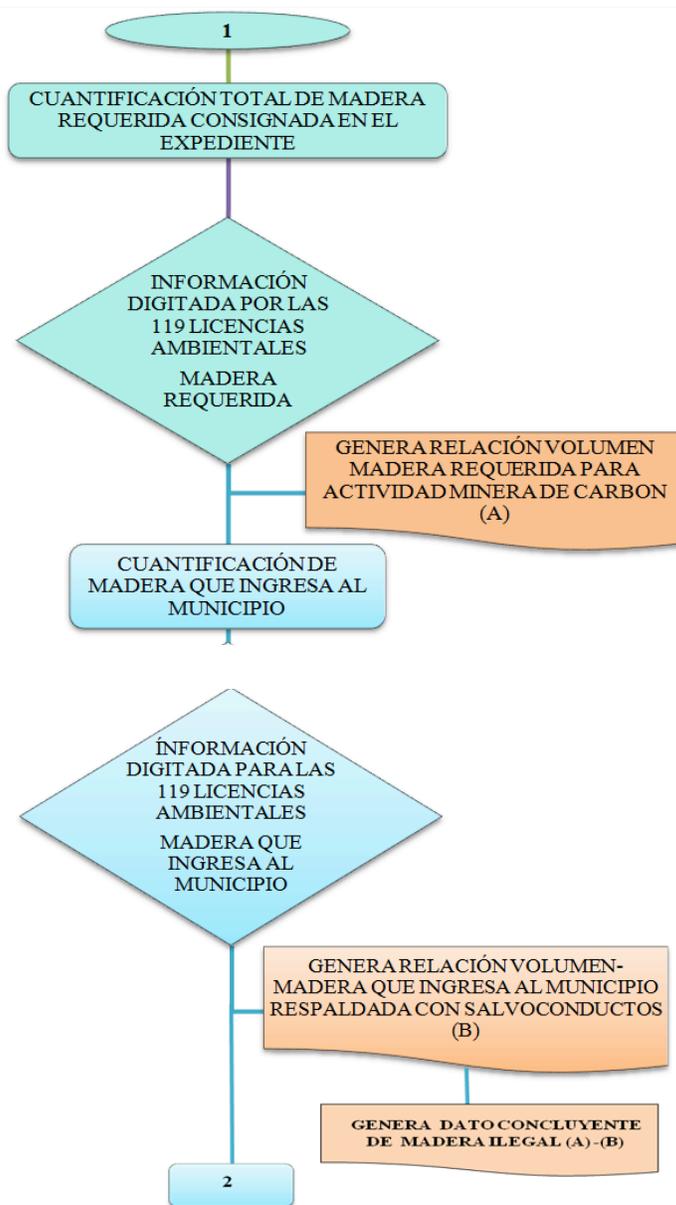


Figura 8. Flujograma explicativo parte 1 de la metodología.

Fuente: autores.

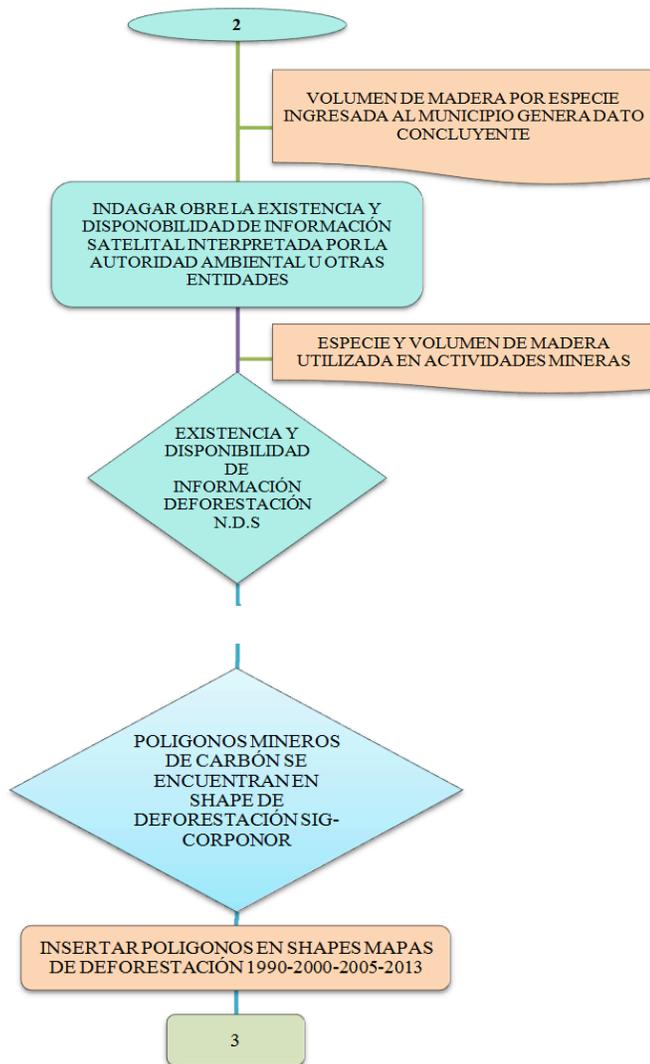


Figura 9. Flujograma explicativo parte 2 de la metodología.

Fuente: autores.

La captura de información se realizó por etapas. La primera consistió en digitar los datos principales de las licencias otorgadas a los ciento diecinueve (119) usuarios de tal manera que se pudieran conocer reportes tales como: número de contrato minero, nombre del usuario, ubicación, acto administrati-

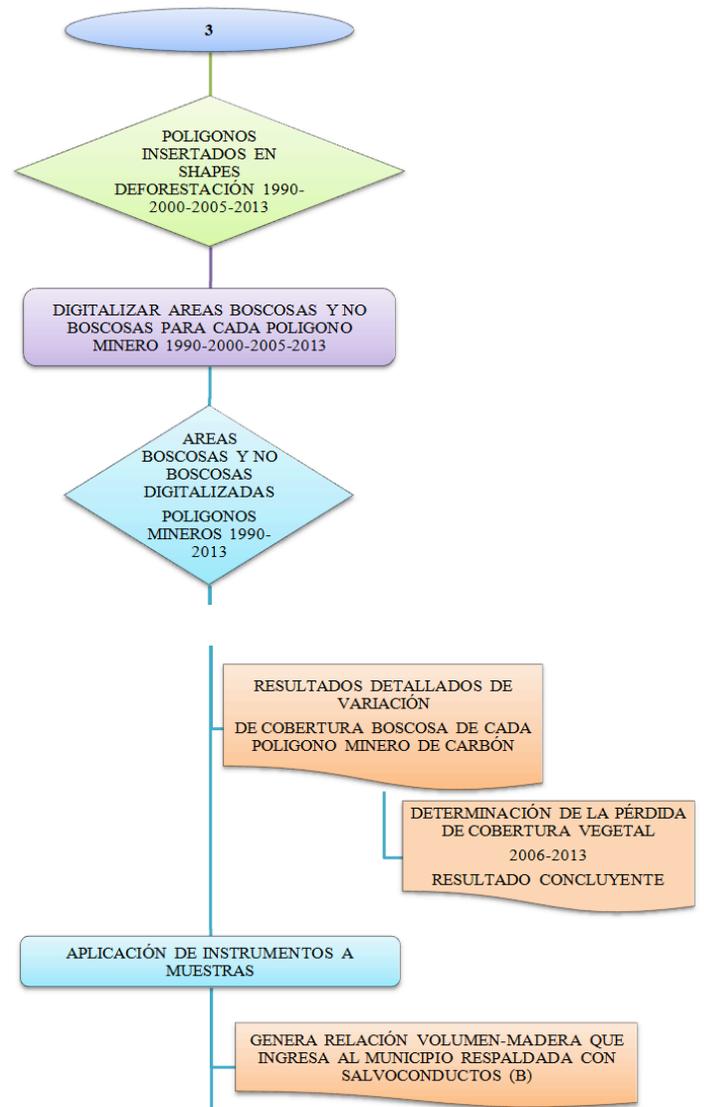


Figura 10. Flujograma explicativo parte 3 de la metodología.

Fuente: autores.

vo de la licencia ambiental, vigencia, área concesionada, producción de carbón, palancas proyectadas para la actividad, volumen de palancas legalizadas y demás datos que se consideraron fundamentales para cuantificar la problemática (ver columnas 1, 7, 10, 11, 14, 18... etc.)

CODIGO (1)	CONTRATO MINERO (2)	REGISTRO MINERO (3)	REGIONAL (4)	NUMERO RADICADO (5)	FEC RADICADO (6)	NOMBRE DEL USUARIO (7)
4048	2599T	HGEI-25	Cúcuta	4397	11/07/2006	CONSORCIO MINERO LOS LACHES
4050	HCF-081	HCF-081	Cúcuta	958	16/02/2007	JOSE RAMIRO ACEVEDO ROZO
4053	FC5-151	FC5-151	Cúcuta	3014	15/05/2006	JOSE LIBARDO LIZCANO JAIMEZ
4066	1975T	HCBG-39	Cúcuta	1267	24/02/2006	MARIO GUERRERO MELO
4071	ELN-083	ELN-083	Cúcuta	6366	21/09/2005	MINAS PALOQUEMAO LTDA
4086	FDN-114	FDN-114	Cúcuta	4718	25/07/2006	MARCO ANTONIO LAZARO ASCANIO
4148	DLC-131	DLC-131	Cúcuta	3749	20/06/2007	GEOVANNY MARTINEZ SANCHEZ
4150	GLJ-152	GLJ-152	Cúcuta	7734	27/11/2007	HUGO AGUILAR DURAN
4158	BJ6-158	BJ6-158	Cúcuta	2907	06/05/2008	INCOLSA LTDA
4412	GC7-103	GC7-103	Cúcuta	4647	27/06/2008	SOCIEDAD MINA BUENAVISTA E.U.
4552	037-93	GCGA-04	Cúcuta	129	16/01/2008	COMPAÑIA MINERA CERRO TASAJERO S.A
4560	FD2-163	FD2-163	Cúcuta	5270	15/07/2008	VICTOR JULIO CARVAJAL VEGA
4561	GBH-142	GBH-142	Cúcuta	9321	26/09/2008	CARBONES CARINCO LTDA
4564	2614T	HCBG-44	Cúcuta	10174	20/10/2008	ABEL VERA DURAN
4570	FHD-141	FHD-141	Cúcuta	6603	12/10/2007	CIUDAD EXPLOTACION DE MINERALES "EXPLOMIN"

MUNICIPIO (10)	RESOL (11)	FECHA RESOL (12)	AREA SIG (14)	PRODUCCION DE CARBON PROYECTADO EXPEDIENTE (Tn/año) (18)	PALANCAS PROYECTADAS (UNIDAD/MES) (21)	VOLUMEN PROYECTADO (M3/MES) (22)	PALANCAS LEGALIZADAS (UNIDAD) (23)	VOLUMEN DE PALANCAS LEGALIZADAS (M3) (24)
Bochalema	124	07/05/2007	246,64	56000,00	770,00	17,50	770,00	17,40
Arboledas	0119	02/05/2007	131,98	8000,00	200,00	4,55	4506,00	111,65
Cúcuta	0439	11/06/2015	106,18	10,000	800,00	18,18	3410,00	77,45
Sardinata	0725	19/12/2007	99,97	10,000	200,00	4,55	2000,00	46,00
Herran	0243	25/06/2007	196,59	15,000	500,00	11,36		
El Zulia	0121	04/05/2007	59,87			0,00		
Durania	0435	11/07/2008	965,81	8,000	600,00	13,64	850,00	20,00
El Zulia	0432	11/07/2008	94,64	5,000	250,00	5,68		
Durania	0171	12/03/2009	196,99	15,000	2000,00	45,45	490,00	12,24
Cúcuta	0708	30/09/2008	849,85	5,000	300,00	6,82		
Cúcuta	0060	22/02/2010	477,70	20,000	700,00	15,91		
El Zulia	0135	16/02/2012	105,87	12,000	200,00	4,55	1030,00	23,75
Chitagá	0544	08/07/2009	2661,00	10,000	200,00	4,55	1200,00	26,80
Durania	0421	10/05/2012	114,19	4,000	300,00	6,82	3759,00	85,17
El Zulia	0492	31/07/2008	67,44	20,000	1000,00	22,73		

Figura 11. Datos extractados de los salvoconductos y expedientes de las licencias ambientales. Fuente: elaboración propia basados en información de expedientes de minería subterránea, Corponor.

De igual manera y con base en la fecha de expedición de la licencia ambiental, se calculó la cantidad de madera utilizada en el proceso, se insertó la infor-

mación correspondiente a las áreas deforestadas para los años 1990-2000-2005-2013 identificando a cada usuario en la hoja de cálculo (fig x11)

DEFORESTACION (31)	% (32)	AREA DEFORES 2005-2013 (33)	AREA DEFORES 2012-2013 (34)	VOLUMEN PROYECTADO MADERA M3/AÑO (35)	VOLUMEN DE MADERA PROYECTADO POR LOS AÑOS DE EXPLOTACION (36)	AÑOS EXPLOTACION (37)	PERDIDA DE COBERTURA (38)	PERDIDA DE COBERTURA (39)
76,12	61,53	-1,51	-0,39	175,0	1050,0	6	-1,51	0,00
31,23	54,42	1,66	-1,01	45,5	272,7	6	1,66	1,66
19,76	38,30	0,00	-2,14	181,8	0,0	-2		
0,00	0,00	-31,15	-2,82	45,5	272,7	6	-31,15	0,00
25,03	24,73	-0,11	2,48	113,6	681,8	6	-0,11	0,00
24,48	86,91	-3,24	0,13	0,0	0,0	6	-3,24	0,00
260,27	33,60	20,01	3,95	136,4	681,8	5	20,01	20,01
14,76	21,60	-22,56	-23,69	56,8	284,1	5	-22,56	0,00
48,53	66,20	1,45	0,91	454,5	1818,2	4	0,91	0,91
98,17	31,91	68,54	-1,53	68,2	340,9	5	68,54	68,54
71,82	24,54	25,84	0,20	159,1	477,3	3	0,20	0,20
30,00	51,57	-2,31	-0,44	45,5	45,5	1	-0,44	0,00
679,95	37,76	124,72	14,24	45,5	181,8	4	14,24	14,24
29,20	29,57	4,52	-0,50	68,2	68,2	1	-0,50	0,00

Figura 12. Datos para el cálculo de la pérdida de cobertura vegetal por cada licencia ambiental. Fuente: elaboración propia basados en información de expedientes de minería subterránea, Corponor.

Seguidamente, se procedió a calcular el volumen de madera proyectado por los años de explotación, información que corresponde a la columna 36 de la figura 12, con los datos construidos se procede a calcular el volumen de madera no legalizado en la actividad para cada usuario y al totalizar encontramos uno de los resultados importantes de la investigación.

La segunda fase es de comprobación. Se trata de conocer el grado de confiabilidad de información relacionada con los salvoconductos para movilización de madera contenida en los expedientes que reposan en las dependencias de la autoridad ambiental, puesto

que dichos documentos deben formar parte integral de la revisión documental corporativa.

Para la comprobación, se ha digitado la totalidad de la información que contiene la copia del salvoconducto que reposa en Corponor y que se diligenció en su momento por algún usuario que posee permiso de aprovechamiento forestal. La tarea se profundizó hasta el punto de conocer la totalidad de madera que ingresó de manera legal a cada municipio, debiendo previamente procesar 2.401 salvoconductos, para determinar aspectos relevantes tales como: especie, nombre científico, municipio origen y cantidades movilizadas.

ESPECIE		MUNICIPIO					
NOMBRE COMUN (1)	NOMBRE CIENTIFICO (2)	CUCUTA (3)	EL ZULIA (4)	SARDINATA (5)	SAN CAYETANO (6)	SALAZAR (7)	DURANIA (8)
PINO PATULA	PINUS PATULA	290,2	67	57	340	76	
PEPEBURRO	XILOPIA AROMATICA	1294,31	93,35	284,225	142,51		23
EUCALIPTOS	EUCALIPTUS GRANDIS	107,1		79,5	8	5,4	
AMARILLÓN	TERMINALIA AMAZONIA	482,12	81,33	327,15	76,23	7,59	6,5
CEDRILLA	BRUNELLIA SUBSESILIS	87,12	9,4	201,25	6,1	13,8	59,61
SOMBRERITO	CORDIA SP	438,54	11,5	112,7	6,9		23
DANTO	SIDEROXYLON CAPIRI	4,95	3,71	185,77	3	4,15	33,76
CURO MACHO	OCOTEA SP	355,35	32,2	5,04			
NISPERO	MANILKARA SAPOTA	147,89	4,82	41,74	22,63		
GUAMO	INGA DENSIFLORA BENTH	78,57	11,42	23,265	10,7		44,14
OTRAS ESPECIES*							
CABO DE PALA	OCOTEA SP	32,66		50,46	8,88		23,89
ESCOBITO	XYLOPIA LIGUSTRIFOLIA		4,5			4,5	127,01
PEGACHENTO	SCHIZOLOBIUM PARAHYBA	94		7,53	9,9		
ABARCO	CARINIANA PYRIFORMIS	32,05		26,4	11,5		

Figura 13. Datos para el cálculo de especies de madera utilizadas en la fortificación de la minería subterránea.

Fuente: elaboración propia basados en información de expedientes de minería subterránea, Corponor.

Captura de información consignada en los expedientes existentes en la autoridad minera

Tal como se anotó en la etapa inicial, la información que reposa en las dependencias de la autoridad minera en la mayor parte de expedientes se mantiene intacta en el tiempo. Se evidencia que los cuadros que contienen los soportes de madera a utilizar se elaboraron a mano o con máquina de escribir, motivo por el cual se debieron transcribir los datos a hojas de cálculo.

	Cantidad	Vida Util	Valor Actual	Costo mes (miles)	Prod. mes (toneladas)	Costos Ton.
Costos de Insumos						
- Madera	4.000 toneladas	1 mes	2.200.000	8.000	8.000	1000
- Explosivos	225 kg	1 mes	48.300.000	9.660	8.000	1.402
- Combustibles	2.640 qts	1 mes	2.300.000	1.128	8.000	810
- Mantenimiento Electricidad		1 mes		4.000	8.000	511
- Otros Energía Eléctrica		1 mes		8.000	8.000	904
- Combustibles				5.000	8.000	568
Costos de Mano de Obra						
- Salarios				101.800	8.000	12.493
- Prestaciones Sociales 23%				23.606	8.000	2.963
- Seguro Social 5%				5.100	8.000	4.128
- Otros Beneficios 1/4 OTROS (6.)				4.124	8.000	1.043
Costos de Administración						
- Financiación de Capital de Trabajo				1.800	8.000	205
- Impuestos RENTAS				11.045	8.000	1.382
- Otros (7)				10.000	8.000	1.136
Costos Ecológicos						
- Obras Civiles	30 Ha.	10 Años	10.000	83	8.000	10
- Reforestación		10 Años	100.000	833	8.000	95
- Logones de Descontaminación				61	8.000	8
- Otros Tratamiento Agua				300	8.000	80
Costos Imprevistos (Detalle)						

Figura 13. Información de madera del PTO elaborada a mano.

Fuente: Programa de trabajo y obra mina de carbón, Agencia Nacional Minera (ANM, 2015).

	Cantidad	Vida Útil	Valor Actual	Costo mes	Prod. mes	Costos Ton.
Costos de Insumos						
- Madera	6.000 palancoms	1 mda	1.200\$/U	7200.000	8.800	818
- Explosivos	528	Kg/ans	11.975\$/U	6222.800	8.800	719
- Combustibles y Energía			1.200.000	8.800	1.364	
- Mantenimiento			3000.000	8.800	341	
- Otros						
Costos de Mano de Obra (X 10³)						
- Salarios				72*1000	8.800	8.181
- Prestaciones Sociales				22*198	8.800	2.522
- Seguro Social				21*159	8.800	2.410
- Otros (0)				2*880	8.800	327
Costos de Administración						
- Financiación de Capital de Trabajo				600.000	8.800	68
- Impuestos (Legaliza)				696.000	8.800	795
- Otros				800.000	8.800	910
Costos Ecológicos						
- Obras Civiles	50 lts	10 Años	3000.000	67.000	8.800	8
- Reforestación		10 Años	5000000	500.000	8.800	57
- Logares de Descontaminación		10	3000.000	42.000	8.800	5
- Otros Tratamiento Agua				500.000	8.800	57
Costos Imprevistos (Detailer)						

Figura 14. Información de madera del PTO elaborada a máquina.
Fuente: Programa de trabajo y obra mina de carbón, Agencia Nacional Minera (ANM, 2015).

ITEM	CODIGO	CONTRATO	REGISTRO									
21	11616	FAS-161	L-685									
	METODO A	METODO B	DIENTE	DENSIDAD			METODO A	METODO B				
CONSUMO DE MADRA	MEDIO	MEDIO					TAMBORES PARALELOS CON ENSANCHAMIENTO EN EL RUMBO	CAMARAS Y PILARES				
MINIMO CONSUMO DE MADERA	6	9										
DIAMETRO DE LA MADERA			0.18 - 0.23 M									
TACOS DE MADERA				1.0 M								
PALANCAS												
	UNIDAD	VALOR UNITARIO	AÑO 1		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5		AÑO 6	
PUERTAS INCLINADOS (CADA 0.80M)	UND	4.500	CANTIDAD	VALOR	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	
TAMBORES (CADA 1.5M)	UND	1.500	208	936.000	1.381.500	318	1.431.000	48	216.000	47	211.500	
SUBGUIAS (CADA 1.5M)	UND	1.500	725	1.088.000	1.113.000	1.079	1.618.000	1.117	1.676.000	1.481	2.222.000	
POLINES	DUND	2.000	593	890.000	1.004.000	954	1.431.000	1.071	1.607.000	1.431	2.146.000	
EXPLOTACION (0.3 PAL/TON)	UND	1.500	212	424.000	622.000	322	644.000	52	104.000	51	102.000	
				38.187.000	43.854	65.781.000	45.198	67.797.000	46.980	70.470.000		
			1.739	3.338.000	42.327.500	46.527	70.905.000	47.487	71.400.000	49.990	75.151.500	
	UNIDAD	VALOR UNITARIO	AÑO 7		AÑO 9		AÑO 10-11		AÑO 12-15		AÑO 16-22	
PUERTAS INCLINADOS (CADA 0.80M)	UND	4.500	CANTIDAD	VALOR	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	CANTIDAD	VALOR	
TAMBORES (CADA 1.5M)	UND	1.500	308	1.386.000	7.464.000	3.881	5.821.500	18.119	27.178.500	132	594.000	
SUBGUIAS (CADA 1.5M)	UND	1.500	2.102	3.153.000	4.084.000	2.525	3.787.000	16.465	24.697.500	12.035	18.052.500	
POLINES	DUND	2.000	1.189	1.783.000	4.084.000	2.525	3.787.000	16.465	24.697.500	10.430	15.645.000	
EXPLOTACION (0.3 PAL/TON)	UND	1.500	312	624.000	1.276.000	540	1.080.000	20.441	40.882.000	1.542	3.084.000	
				51.786	77.679.000	42.444.000	193.806	290.709.000	122.622	183.933.000	748.374	1.122.561.
			55.697	84.625.000	55.268.000	200.752	301.397.500	177.647	276.691.000	772.513	1.159.936.	

Figura 15. Ejemplo de información procesada de madera del PTO.
Fuente: elaboración propia basados en el Programa de trabajo y obra mina de carbón, Agencia Nacional Minera (ANM, 2015).

Indagar sobre la existencia de imágenes satelitales y motores de búsqueda necesarios para la investigación

Es indudable que el apoyo de imágenes es una de las principales herramientas de la investigación, se constató con la autoridad ambiental sobre la existencia de imágenes satelitales que sirvieran de apoyo, encontrándose lo siguiente:

Corponor posee en el Sistema de Información Geográfico (SIG) las siguientes imágenes para el desarrollo de la función misional:

Imágenes satelitales ALOS, cuyo origen es el satélite japonés ALOS el cual opera desde el año 2004. En

la corporación se encuentran imágenes de los años 2005 y 2007.

Imágenes satelitales RapidEye, el cual ofrece un sistema de imágenes satelitales. En Corponor, se encuentran imágenes correspondientes a los años 2009-2011 y 2014.

Imágenes satelitales IKONOS, su actividad comercial aparece en el año 2000. La corporación posee imágenes 2005 y 2009.

Se inició la búsqueda de imágenes satelitales disponibles pero dada la complejidad de su interpretación se optó por analizar las imágenes entregadas por el

Ideam y que hoy forman parte del Sistema de Información Geográfico de Corponor.

Haciendo uso del software ArcGIS, se utilizó una aplicación que permitió procesar imagen *raster* y de esta forma se construyó el *shape* para cada polígono minero de carbón y de esta manera dar paso a la siguiente actividad.

Alimentar digitalmente la cartografía existente

Inicialmente se digitalaron las coordenadas de los polígonos para cada municipio y luego se insertaron en el *shape*.

Luego se digitalizaron las áreas boscosas y la pérdida de cobertura vegetal con el objeto de determinar en cada polígono y cada mapa existente, la cantidad aproximada de pérdida o recuperación de cobertura por cuanto se encontraron casos en los cuales la deforestación ocurrió severamente antes del otorgamiento de la concesión minera y otros donde la recuperación del recurso es aparentemente evidente.

En total se digitalizaron quinientos noventa y cinco (595) polígonos que corresponden a ciento diecinueve (119) licencias ambientales multiplicadas por los cinco (5) años de información que se posee de la variación boscosa.

ETAPA 3:

Revisar base de datos de procesos sancionatorios

La Ley 1333 de 2009 “Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones” fue publicada en el Diario Oficial N° 47.417. Dicha norma contempla las acciones que deben tomar las autoridades ambientales por incumplimiento a la normatividad vigente.

En Corponor se estableció un procedimiento interno que pondera los impactos negativos de todos los sectores.

Para el caso de la minería subterránea, se hizo una juiciosa revisión de todos los expedientes en lo pertinente a los procesos sancionatorios, generando una hoja de cálculo para determinar con precisión el número total de infractores por el uso de la madera en forma ilegal, que no es otra cosa que aquella madera utilizada en la fortificación de las minas.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las concesiones mineras de carbón otorgadas por la respectiva autoridad están presentes en el 42 % de los municipios de Norte de Santander. El 62 % de dichos títulos se concentra en los municipios de Cúcuta, El Zulia y Sardinata.

Los requerimientos de madera para fortificación de minas en el departamento de Norte de Santander, período de estudio (2006-2013), ascienden a 59.240 metros cúbicos con base en información que reposa en los respectivos expedientes de la Agencia Nacional Minera y en Corponor.

El volumen de madera legal que es utilizada para la actividad minera es de 29.5 %. La especie de madera más utilizada en el proceso de explotación de madera es el pino pátula (*Pinus patula*) la cual ofreció 6.755 metros cúbicos de madera equivalente al 38,6 % del total de las especies, que en total suman 76.

La deforestación en las coordenadas donde se ubican los títulos mineros objeto de estudio en el período 1990-2006 alcanzó la cifra de cuatro mil ochocientos doce con veintiocho (4.812,28) hectáreas, equivalentes al 17.46 % de la superficie donde se encuentra el polígono minero.

El total del área concesionada en el período 2006-2013 es de veintisiete mil quinientos cincuenta y cuatro con cinco (27.554,5) hectáreas y la pérdida de cobertura vegetal por acción de la minería legal fue de seiscientos treinta y tres con cuatro (633,4) hectáreas, lo cual significa que el porcentaje de deforestación fue de 2.30 % para el mismo período.

CONCLUSIONES

En los informes de seguimiento realizados a los usuarios de minería de carbón subterránea, se observan comentarios de los técnicos que los suscriben pero es muy laxo el detalle relacionado con la cantidad y especies de madera que es utilizada en la operación, muchas veces en la entrada de las bocaminas constituyéndose en infractores ambientales.

Las guías para movilización de madera no justifican las cantidades de madera que realmente requieren los usuarios de la actividad minera, motivo por el cual se

presume que el alto porcentaje utilizado en la actividad que es de carácter ilegal proviene de diferentes municipios generando procesos de deforestación impactantes.

La madera utilizada en la actividad minera en su gran mayoría es ilegal puesto que tan solo el veintinueve por ciento (29 %) es legalmente movilizada, conclusión que se desprende de los requerimientos del usuario reportados en la Agencia Nacional Minera (ANM) o en la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (Corponor).

No se evidencia una preferencia determinada por alguna especie de madera a utilizar en la fortificación de minas, puesto que se reconocieron sesenta y seis (76) especies diferentes, aunque hay predilección por pino pátula (*Pinus patula*), fruta de burro (*Xylopia aromatica*), eucalipto (*Eucaliptus grandis*) y amarillón (*Terminalia amazonia*), cuyo porcentaje de utilización alcanza el setenta por ciento (70 %) del total de las especies.

La revisión documental de los expedientes evidencia insuficiencia en el control de la madera utilizada en la actividad, siendo un recurso natural cuyo seguimiento debe estar en las diferentes autoridades que componen el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y cuyas responsabilidades se encuentran detalladas en la Ley 99 de 1993.

El control de la madera debe ser aplicado desde el sitio donde se produce la infracción ambiental hasta el sitio de posible destino, puesto que una vez se encuentre en el lugar objeto de su uso se pierde toda la evidencia porque la misma es introducida al interior de la mina donde el control de la autoridad ambiental termina.

Los fenómenos asociados a la deforestación por la utilización de madera para palancas no tienen el mayor indicador de amenaza por su reducido volumen. Sin embargo, es muy importante aclarar que debido a las necesidades de madera para la fortificación minera, siempre existirán focos irregulares que comercializarán irregularmente el recurso bosque con la presunta complacencia de los actores operativos desde las montañas, pasando por los cascos urbanos de buena parte de la geografía nortesantandereana hasta los sitios donde se realiza la explotación minera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental Colombiana (Corponor), a la Agencia Nacional Minera (ANM) seccional Cúcuta y a la Universidad de Pamplona.

REFERENCIAS

- ANM. (2015). Agencia Nacional Minera. *Expedientes de archivo legalización minera*. Seccional Cúcuta, Colombia.
- Ideam. (2011). *ideam.gov.co*. Recuperado el 20 de junio de 2015, de http://www.ideam.gov.co/documents/13257/155580/BNB_2005_Landsat.pdf/55585401-158f-4c79-bef2-c0c6ccf4c1d2
- Ideam. (2014). *ideam.gov.co*. Recuperado el 10 de agosto de 2015, de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/deforestacion-colombia>
- IGAC. (2008). *igac.gov.co*. Recuperado el 7 de julio de 2015, de http://www2.igac.gov.co:8080/igac_web/UserFiles/File/MAGNAWEB_final/MAGNAPal.htm
- León, R. B. (2015). Estudio técnico-ambiental de las estructuras principales de fortificación usadas en la minería de carbón de Norte de Santander. *SciELO*, 38.
- Minambiente-Ideam. (29 de abril de 2014). *minambiente.gov.co*. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=814:el-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-179>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (17 de octubre de 2014). *parquesnacionales.gov.co*. Recuperado el 15 de agosto de 2015, de <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/colombia-revela-su-primera-tasa-anual-de-deforestacion/>
- Pinzón. (7 de agosto de 2013). *granmineria.blogspot.com.co*. Recuperado el 23 de junio de 2015, de Todo sobre minería: <http://granmineria.blogspot.com.co/2013/08/que-es-una-puerta-alemana.html>

planospara.com. (26 de diciembre de 2013). *planospara.com*. Recuperado el 2 de julio de 2015, de <http://www.planospara.com/maquinas-instalaciones/industria-minera/page/4>

SIG-Corponor. (21 de junio de 2015). *Mapa de municipios carboníferos en el departamento Norte de Santander*. Cúcuta, Colombia.

Sispro-Corponor. (2015). *Datos de licencias ambientales vigentes*. Software. Cúcuta, Colombia.

Termotasajero. (2008). *termotasajero.com.co*. Recuperado el 20 de junio de 2015, de http://www.termotasajero.com.co/page/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=32

Selección de marcadores microsatélites (SSR's) para el análisis de variabilidad genética en siete cultivares de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)

Madeleyne Parra Fuentes, Paula Quintero Munévar, Javier Hernández Fernández

Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Grupo de Investigación en Genética. Biología Molecular y Bioinformática – GENBIMOL y Grupo de investigación Desarrollo en Horticultura Sostenible, Centro de Bio-Sistemas. Autor para correspondencia: javier.hernandez@utadeo.edu.co

RESUMEN

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) es una Apiaceae con raíces tuberosas reservantes ricas en un fino y nutritivo almidón. Los microsatélites o SSR's, secuencias simples de ADN con motivos de 1 a 6 nucleótidos repetidos en tándem, poseen características útiles para estudiar la diversidad genética de una población. En el municipio de Boyacá, Boyacá, los agricultores identificaron mediante diferencias fenotípicas siete cultivares de arracacha. Esta investigación busca identificar los loci polimórficos y reproducibles para siete cultivares nativos de arracacha entre un conjunto de 14 loci SSR's diseñados a partir de un cultivar ecuatoriano. Se amplificó y evaluó el ADN de los cultivares de arracacha con diferentes concentraciones de $MgCl_2$ y temperaturas de anillamiento para cada locus microsatélite. Los productos amplificados se separaron en geles de poliacrilamida al 6, 10 y 12%. La estandarización para cada locus logró reducir las bandas inespecíficas en un 80% y evidenciaron una resolución óptima de las bandas en poliacrilamida al 12%. Se detectó que 5 loci no son aptos para el análisis de la variabilidad de arracacha debido a que 4 loci son monomórficos, mientras que 1 locus polimórfico presenta exceso de bandas inespecíficas. Se identificaron fragmentos polimórficos reproducibles en 9 loci microsatélites y se confirmó su uso para el análisis de la variabilidad genética de los cultivares nativos de arracacha: paliverde, palirusia, palinegra, yema de huevo, blanca de tarro, yucataña y amarilla de tarro.

Palabras claves: estandarización, marcadores moleculares, cultivares, PCR.

Editora: Pataquiva-Mateus, A.Y.

Citation: Parra, M., Quintero, P. & Hernández-Fernández J. (2015). Selección de marcadores microsatélites (SSR's) para el análisis de variabilidad genética en siete cultivares de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Revista Mutis* 5(2); págs. 39-45.

Received: August 28, 2015. **Accepted:** October 25, 2015. **Published online:** December 31, 2015.

Copyright: ©2015 Parra *et al.* This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Microsatellite markers selection of genetic variability in seven cultivars arracacia (*Arracacia xanthorrhiza*)

ABSTRACT

Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) is a reservantes Apiaceae with tuberous roots rich in starch fine and nutritious. Microsatellites (SSR) are DNA simple sequence motifs of 1-6 nucleotides repeated in tandem, have useful features to study the genetic



diversity of a population. In the municipality of Boyacá, Boyacá, farmers identified by phenotypic differences arracacha seven cultivars. This research seeks to identify and reproducible polymorphic loci in seven arracacha native cultivars from a set of 14 SSR loci's designed from Ecuadorian cultivars. DNA of each cultivar was amplified and each microsatellite locus was evaluated at different $MgCl_2$ concentrations and annealing temperatures. The amplifications were confirmed by electrophoresis of 2.5% agarose with ethidium bromide dye and were separated by electrophoresis 6, 10 and 12% polyacrylamide gels stained with silver nitrate. The standardization for each locus was reduced nonspecific bands in 80% showed an optimal resolution of the bands on 12% polyacrylamide. Polymorphic fragment were observed in nine loci, four fragment were monomorphic and one polymorphic loci locus with excess nonspecific bands was detected. Paliverde, palirrusia, palinegra, egg yolk, white jar, yucatan and yellow jar: the use of nine microsatellite loci in the analysis of the genetic variability of cultivars arracacha was confirmed.

Keywords: standardization, molecular markers, cultivars, PCR.

INTRODUCCIÓN

La arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) pertenece a la familia Apiaceae y es cultivada por sus raíces tuberosas reservantes ricas en un fino y nutritivo almidón. Es considerada un cultivo promisorio en Colombia (Idarra, Tocora, Camacho & Silva, 2011) que se caracteriza por un sabor agradable, alto contenido de calcio, vitamina A y niveles adecuados de niacina, hierro, ácido ascórbico y fósforo (Amaya & Julca, 2006), siendo indicada para dietas alimenticia infantiles (ICBF, 1998). Entre las nueve especies menores de raíces y tubérculos andinos, la arracacha tiene la más amplia gama de usos gastronómicos para dar textura y sabor a los platos (Hermann & Heller, 1997).

El cultivo de arracacha es el segundo en el región de importancia en el municipio de Boyacá (Boyacá). Los agricultores locales identificaron siete cultivares de arracacha mediante diferencias fenotípicas como: color de las hojas, de los tallos y de las raíces. Los cultivares son identificados como: paliverde, palirrusia o palimorada, palinegra, yema de huevo o cartagenera, blanca de tarro, amarilla de tarro y yucatan (Alvarado & Ochoa, 2010a).

La caracterización a través marcadores moleculares es una herramienta valiosa que tiene varias ventajas, como su independencia del medio ambiente y el alto nivel de polimorfismo que se puede encontrar distribuido por el genoma (Fonseca-Trujillo *et al.*, 2009). Los microsatélites o SSR's, secuencias simples de ADN con motivos de 1 a 6 nucleótidos repetidos en tándem, se usan como marcadores y poseen características útiles para estudiar la diversidad genética de una población.

Este estudio pretendió identificar los loci microsatélites polimórficos y reproducibles para siete cultivares nativos de arracacha entre un conjunto de 14 loci SSR's diseñados a partir de cultivares ecuatorianos (Morillo *et al.*, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Los cultivares utilizados en este análisis fueron: paliverde (PV), palirrusia o palimorada (PR), palinegra (PN), yema de huevo o cartagenera (YH), blanca de tarro (BT), amarilla de tarro (AT) y yucatan (YT). Se colectaron hojas jóvenes en buen estado y en buenas condiciones fitosanitarias de los cultivares de arracacha ubicados en Boyacá, Boyacá. Las hojas se almacenaron en tubos falcon con agua estéril destilada y se transportaron en nevera de icopor refrigerada a 4 °C hasta su traslado al laboratorio de Biología Molecular de la Universidad Jorge Tadeo Lozano en Bogotá.

Extracción de ADN. El ADN se extrajo de 1 gr de tejido foliar joven empleando el kit UltraClean® Tissue & Cells DNA Isolation (MoBio Laboratories) siguiendo el protocolo de la casa comercial. La elución final del ADN se realizó en 75 µl de buffer libre de EDTA. La calidad y pureza de ADN se verificó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1 % p/v con solución TBE 0.5X, con tinción de bromuro de etidio (2 µg/ml) en una cámara horizontal Gel XL UltraV-2 (LabNet International, Inc. New Jersey, EE. UU.) a 100 voltios durante 15 minutos. Las bandas fueron observadas bajo luz ultravioleta y se registró con el fotodocumentador UVP GelDoc-It™ System (UVP, Upland, EE. UU.). La imagen digital se analizó con el programa VisionWorks® LS Image Acquisition and Analysis Software (Imaging System, EE. UU.). La concentración del ADN se cuantificó en Nanodrop 1000 Spectrophotometer mediante el programa ND-1000 V3.7.1 (ThermoScientific, EE. UU.).

Amplificación por PCR de ADN - Análisis de marcadores microsatélites. Se seleccionaron 14 loci microsatélites desarrollados por Morillo *et al.* (2004) para arracacha (tabla 1). La amplificación vía PCR se realizó en un termociclador de bloque TC9600-G MultiGene Gradient Thermal Cycler (Edison, NJ, EE. UU.), a un volumen final de 15 μ L. La mezcla de reacción incluyó 1X Tampon de PCR, 0.2 mM de dNTP's, 2.5 mM de $MgCl_2$, 0.3 μ M de cada uno de los cebadores, 1U de Taq ADN polimerasa y 20 ng de ADN.

Los ensayos se iniciaron con la evaluación de la temperatura de anillamiento reportada por los autores

para cada uno de los pares de cebadores. Posteriormente, se evaluó el aumento en la temperatura de anillamiento desde 1 a 3 $^{\circ}C$ y se evaluó la concentración de $MgCl_2$ entre 1.4 a 2.5 mM con cada uno de los cebadores hasta determinar las condiciones óptimas para la amplificación. El programa de la PCR incluyó una denaturación inicial de 1 min a 94 $^{\circ}C$, seguida de 30 ciclos de 60 s a 94 $^{\circ}C$, 60 s a la temperatura de anillamiento de cada cebador (tabla 1) y 60 s de extensión a 72 $^{\circ}C$, finalizando con una extensión final de 72 $^{\circ}C$ por 7 min.

Tabla 1. Oligonucleótidos evaluados en este estudio para revelar la variabilidad genética en arracacha (Morillo *et al.*, 2004).

Locus (Accesión GenBank)	Secuencia oligonucleótidos (5'-3')	Motivo	T. Anillamiento ($^{\circ}C$)
AxC27 AY530811	F: AAGTTCGTATTGTGCTGCTGTAT R: ATTGTGGCGTGATGTGAAAAG	(GT) ₈	58
AxC38 AY530812	F: TAAAGCCTATAAACATCAAAA R: ACCCTCTCCCATCATAAC	(GT) ₈	48
AxC85 AY530813	F: TTGGGACTGGAACCTTTGT R: GTGTGCGTGATGTAATAAT	(GT) ₈ N ₁₂ (GT) ₁₀	58
AxD34 AY530814	F: AAGCTACGGATATTTACTACAT R: AGCGGGTCTGATTTGAG	(GA) ₁₃	50
AxD43 AY530815	F: AATGGTGGTGTAGGTTTGAAG R: AATTGTTATCTGAGTGC GTTGGTA	(CA) ₁₅	58
AxD72 AY530816	F: GATACCAATAGGCGAAAGGAG R: AGGGGTGGAGTAGCAATGTT	(TA) ₆ (GT) ₈	58
AxD82 AY530817	F: TGGAGAGGCTAATGCAAAATACT R: ATAAGCAGAACGCAAAACGACAT	(GT) ₁ 2(GA) ₁₁	58
AxD85 AY530818	F: TGCACGCATTGTAGA ACT R: CAAATGGACGTGGTATGT	(GA) ₈	48
AxD13 AY675515	F: AACTTTGAACATGGTCTATTACTT R: TGATGCCACGACAAAAGATA	(CA) ₈	48
AxD55 AY675514	F: AACCCGACTGAAATCCCAAAT R: GCAAAAAGACCGACAATCAA	(GT) ₈	54
AxC64 AY530819	F: GAAATGATCTGCAACTGGAT R: TCCCATCCTTCTTACATAT	(CT) ₂₀	48
AxC87 AY530820	F: CTCGCAGATCATCTCATAAAGT R: TTAACCTGCAAAGGAGCAC	(CT) ₁₃	58
AxC8 AY675512	F: GATCATTTGCAAGGTA ACTCTC R: AGTCACCTTATGAAATGTTCTGTA	(CT) ₁₂	58
AxC29 AY675513	F: GCCCAATAGCCACAAG R: TCCCATCCTTCTTACATAT	(CT) ₁₃ (TA) ₇	58

Los productos de la PCR se mezclaron con 5 μ l de buffer de carga (30 % glicerol y 0,05 % azul de bromofenol p/v) y luego se verificaron 10 μ l del producto en electroforesis de agarosa al 2.5% teñida con bromuro de etidio (2 μ g/ml) en TBE 0.5X.

Separación electroforética en poliácridamida. Los productos verificados se separaron por electroforesis de poliácridamida en un gel de 7.5 cm x 8.5 cm en una cámara Powerpac HV Power Supply (Biorad Laboratories, Inc., EE. UU.) por hora y media entre 150 y 200 voltios. Se evaluaron geles al 8, 10 y 12 % de poliácridamida (acrilamida:bisacrilamida 38:2). Los geles se tiñeron con nitrato de plata para revelar las bandas. El tamaño de las bandas se estimó con el marcador de peso molecular Hyperladder V (Bioline Inc., California, EE. UU.).

RESULTADOS

Calidad y concentración del ADN. El análisis cualitativo del ADN extraído permitió obtener una banda definida de alta calidad, con algunas trazas de ARN o DNA degradado (figura 1), con concentraciones entre 136 a 565 ng/ml y una relación A260/A280 calculada entre 1.78 a 1.93 estableciéndose que todas las extracciones presentaban una calidad óptima (Teare *et al.*, 1997). Se usó en la mezcla de reacción una concentración de ADN de 20 ng/ μ L, concentración descrita por Morillo *et al.* (2004).

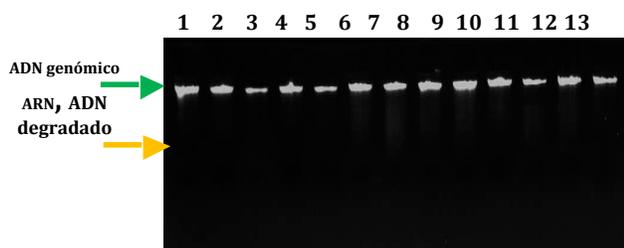


Figura 1. Electroforesis de ADN genómico de arracacha. Carriles 1 – 5: Paliverde, Carriles 6 – 7: Yema de Huevo, Carriles 8 – 9: Palinegra y Carriles 10 – 13: Individuos de Blanca de Tarro. Electroforesis en agarosa al 1%, teñida con bromuro de etidio.

Amplificación de loci según Morillo *et al.* (2004). El ADN de los siete cultivares fue amplificado con los 14 loci según los parámetros publicados por Morillo *et al.* (2004). Los productos revelados en agarosa al 2.5 %, presentan bandas específicas o alelos esperados para cada oligonucleótido, así como bandas inespecíficas, las cuales se encuentran inclusive fuera del área del marcador de peso molecular (figura 2).

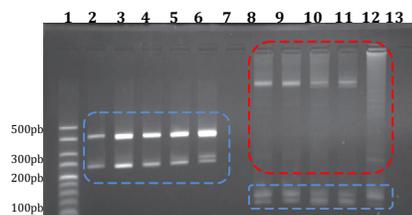


Figura 2. Amplificación de los marcadores AxD55 (Carril 2-7) y AxC87 (Carril 8-13). Carril 1: Hyperladder V, Carril 2: PV, Carril 3: YH, Carril 4: PN, Carril 5: BT, Carril 6: PR, Carril 8: PV, Carril 9: YH, Carril 10: PN, Carril 11: BT y Carril 12: PR. Carriles 13 y 7: Control negativo. Recuadro rojo: Bandas inespecíficas y recuadro azul: Bandas específicas. Electroforesis en agarosa al 2.5%, teñida con bromuro de etidio.

Los productos revelados en geles de poliácridamida mostraron un alto porcentaje de bandas inespecíficas y, en algunos casos, bandas poco definidas, lo que no permitía evidenciar el polimorfismo (figura 3c).

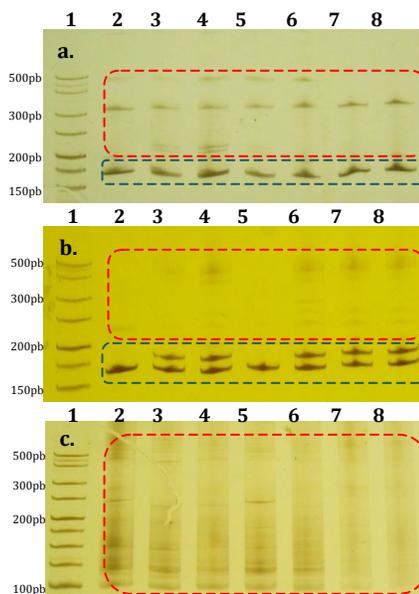


Figura 3. Loci amplificados según los parámetros reportados por Morillo *et al.* (2004) a. Loci AxD13, b. Loci AxD85 y c. Loci AxC87. Carril 1: Hyperladder V, Carril 2: PV, Carril 3: YH, Carril 4: PN, Carril 5: BT, Carril 6: PR, Carril 7: AT y Carril 8: YT. Recuadro rojo: Bandas inespecíficas y recuadro azul: Bandas específicas. Electroforesis en agarosa al 2.5%, teñida con bromuro de etidio.

Electroforesis en diferentes concentraciones de poliácridamida. Cuando dos o más bandas alélicas tienen una diferencia de 5-10 pb, se encuentran muy unidas, llegando incluso a solaparse visualizando una única banda al observar en un gel de agarosa al 2.5 %. Además, las bandas inespecíficas, en muchos casos, no pueden evidenciarse (figura 4a). Los geles de poliácridamida, sin embargo, presentan una mayor resolución de las bandas al permitir una mejor definición y separación (Figura 4b).

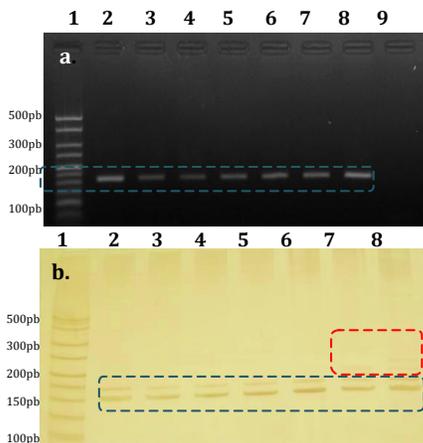


Figura 4. Observación de alelos en el Locus *AxD72*. a. En gel de agarosa 2.5%. b. En gel de poliacrilamida 12%. Carril 1: Hyperladder V, Carril 2: PV, Carril 3: YH, Carril 4: PN, Carril 5: BT, Carril 6: PR, Carril 7: AT y Carril 8: YT. Carril 9: Control negativo. Recuadro rojo: Bandas inespecíficas y recuadro azul: Bandas específicas.

El revelado de los productos amplificados en diferentes concentraciones determinó que geles de poliacrilamida del 12 % permiten obtener con una mayor definición y resolución las bandas alélicas (figura 5).

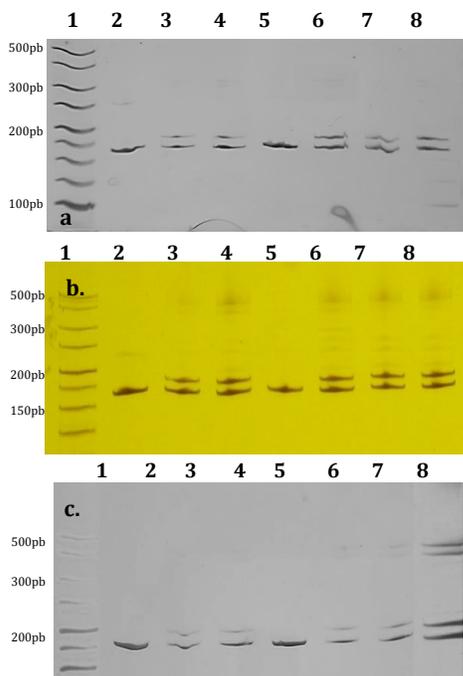


Figura 5. Revelado del locus *AxD85* en poliacrilamida. a. Gel de poliacrilamida al 8 %, b. Gel de poliacrilamida al 10 % y c. Gel de poliacrilamida al 12 %. Carril 1: Hyperladder V, Carril 2: PV, Carril 3: YH, Carril 4: PN, Carril 5: BT, Carril 6: PR, Carril 7: AT y Carril 8: YT.

Estandarización de PCR: temperatura de anillamiento y cloruro de magnesio. Los resultados obtenidos con

la evaluación de los loci bajo las condiciones de amplificación indicadas por Morillo *et al.* (2004), permitieron evidenciar la necesidad de modificar temperaturas de anillamiento y concentración de $MgCl_2$. La tabla 2 muestra que la amplificación de los loci *AxC27*, *AxC38*, *AxD43*, *AxD85*, *AxC85*, *AxC29*, *AxD72* y *AxD13* no se requirió modificar la temperatura de anillamiento reportada, sin embargo, las concentraciones de $MgCl_2$ para una adecuada amplificación variaban de acuerdo al locus, y debían ser menores a 2.5 mM para una mejor definición de las bandas, siendo los rangos entre 1.5 a 2.0 mM los más adecuados para dar especificidad a la reacción.

Tabla 2. Condiciones estandarizadas para cada locus microsatélites de arracacha.

Locus	Tm (°C)	Temperatura anillamiento Morillo <i>et al.</i> (2004)	Estandarización	
			MgCl ₂ (mM)	Temperatura anillamiento (°C)
<i>AxC27</i>	54.7 56.3	58	1.5	58
<i>AxC38</i>	50.6 45.1	48	2	48
<i>AxC8</i>	51.9 49.7	58	ND	ND
<i>AxD34</i>	48.7 51.8	50	1.8	51
<i>AxD43</i>	52.9 54.6	58	1.8	58
<i>AxD85</i>	51.9 49.7	48	1.5	48
<i>AxC64</i>	50.5 46.9	48	1.5	50
<i>AxD55</i>	55.0 54.8	54	1.5	57
<i>AxC85</i>	51.2 47.7	58	1.8	58
<i>AxC87</i>	52.2 53.0	58	1.8	59
<i>AxC29</i>	53.6 51.3	58	1.8	58
<i>AxD72</i>	52.8 56.2	58	2	58
<i>AxD82</i>	54.2 55.6	58	2	57
<i>AxD13</i>	50.4 53.9	48	2	48

Para los loci **AxD34** y **AxC87** la mayor especificidad de las bandas alélicas se logró con el aumento de 1 °C en la temperatura de anillamiento (de 50 a 51 °C y de 58 a 59 °C, respectivamente), y el requerimiento de ambos loci de 1.8 mM de MgCl₂. Para la amplificación de las bandas específicas en el locus **AxD82** fue necesario disminuir un 1 °C la temperatura de anillamiento (de 58 a 57 °C) y utilizar 2.0 mM de MgCl₂.

En el caso del locus **AxC64** se observó que un aumento de 2 °C en la temperatura de anillamiento (de 48 a 50 °C) con 1.5 mM de MgCl₂ permitía la amplificación específica de las bandas alélicas, mientras que para el loci **AxD55** se requirió un aumento de 3 °C en la temperatura de anillamiento (de 48 a 50 °C) y 1.5 mM de MgCl₂.

Estas condiciones permitieron la eliminación de más del 80 % de las bandas inespecíficas y la observación de las bandas alélicas específicas en 13 de los 14 loci, sin embargo, en el loci **AxC8** las diferentes amplificaciones con aumento desde 1 a 5 °C en la temperatura de anillamiento y concentraciones de MgCl₂ entre 1.6 a 2.5 mM solo permitió eliminar entre 10 y 20 % de las bandas específicas, siendo difícil la observación de las bandas específicas debido a poca definición o claridad en su expresión.

La estandarización de la PCR permitió establecer que los loci **AxC38**, **AxD82**, **AxD72** y **AxD13** generan alelos monomórficos, no siendo aptos para su uso en la determinación de variabilidad de los cultivares de arracacha nativos.

DISCUSIÓN

En esta investigación se evaluaron las condiciones de amplificación de 14 loci microsatélites de arracacha: **AxC8**, **AxC27**, **AxC29**, **AxC38**, **AxC64**, **AxC85**, **AxC87**, **AxD13**, **AxD34**, **AxD43**, **AxD55**, **AxD72**, **AxD82** y **AxD85**, reportados por Morillo *et al.* (2004) con el fin de determinar los parámetros adecuados de amplificación para cada locus y seleccionar aquellos loci con un comportamiento polimórfico en el bandedo para los siete cultivares nativos del estudio, los cuales permitirán determinar la variabilidad genética presente en estos cultivares.

La determinación de la temperatura de anillamiento óptima para la amplificación permite la unión específica de las dos cadenas sencillas complementaria de

ADN. Ante una temperatura de anillamiento demasiado baja se presenta inespecificidad en el producto (Rychlik *et al.*, 1990), mientras que una temperatura de anillamiento alta aumenta la especificidad, sin embargo, una temperatura demasiado alta reduce o impide la posibilidad de anillamiento al limitar la unión de los oligonucleótidos con los sitios complementarios (Blanco, 2011). Las temperaturas de anillamiento para los loci evaluados variaron entre 48 a 60 °C y en el caso de 8 loci no se modificó la temperatura de anillamiento. Es necesario tener presente que en los 9 loci seleccionados la diferencia entre la temperatura de *melting* y la de anillamiento de los cebadores varió entre -2.8 y 9.2, siendo solo en un locus (**AxD85**) menor la temperatura de anillamiento a la de *melting*.

CONCLUSIONES

La selección de los loci polimórficos: **AxC27**, **AxC29**, **AxC64**, **AxC85**, **AxC87**, **AxD34**, **AxD43**, **AxD55** y **AxD85** permitirán analizar la variabilidad genética en siete cultivares de arracacha provenientes del municipio de Boyacá, Boyacá.

Las condiciones de amplificación varían para cada uno de los pares de oligonucleótidos reportado por Morillo *et al.* (2004), encontrándose, por lo general, que la temperatura óptima es igual a la reportada por el autor y que sus modificaciones se han hecho aumentando entre 1 y 3 °C. Por otro lado, se encontró que el requerimiento en la concentración de MgCl₂ para la amplificación de bandas específicas es menor a 2.0 mM.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación hace parte del proyecto “Conservación, valoración y uso de la agrobiodiversidad de la arracacha en la Provincia de Marquéz, Boyacá”, financiado por Colciencias (Contrato RC 705-2011) y ejecutado por la Corporación PBA y la UJTL.

REFERENCIAS

- Alvarado G., A., & Ochoa F., L. (2010). Tecnologías locales de producción de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) en el municipio de Boyacá. Departamento de Boyacá local technologies of arracacha. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 125-133.

- Alvarado G., A., & Ochoa F., L. (2010). *Cultivo de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) en los municipios de Turmequé y Boyacá (Boyacá, Colombia)*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).
- Amaya, J., & Julca, J. (2006). *Arracacha, Arracacia xanthorrhiza Bancroft. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Conservación del Medio Ambiente. Gobierno Regional La Libertad. Perú. 15p.*
- Blanco C., N. C. (2011). Estandarización del sistema PCR-RFLP-HpyCH4V de la región LCR-E6 para la detección y tipificación del VPH en muestras de pacientes con lesiones intraepiteliales de alto grado. Tesis de grado. Universidad de los Andes, Venezuela.
- Fonseca-Trujillo, N., Márquez-Cardona, M. D. P., Moreno-Osorio, J. H., Terán-Pérez, W., & Schuler-García, I. (2009). Caracterización molecular de materiales cultivados de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*). *Universitas Scientiarum*, 14(2), 135-140.
- Hermann, M., & Heller, J. (Eds.). (1997). *Andean roots and tubers: ahípa, arracacha, maca and yacon* (Vol. 21). International Potato Center.
- ICBF, F. N. (1998). Perfiles Nutricionales.
- Idarraga, D. A. M., Tocora, M. R. A., Camacho, N. A. S., & Silva, J. F. B. (2011). Calidad de la harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) a partir del método de secado por conducción. *RIAA*, 2(1), 23-28.
- Morillo, E., Second, G., Pham, J. L., & Risterucci, A. M. (2004). Development of DNA microsatellite markers in the Andean root crop arracacha: *Arracacia xanthorrhiza* Banc.(Apiaceae). *Molecular Ecology Notes*, 4(4), 680-682.
- Teare, J. M., Islam, R., Flanagan, R., Gallagher, S., Davies, M. G., & Grabau, C. (1997). Measurement of nucleic acid concentrations using the DyNA Quant and the GeneQuant. *Biotechniques*, 22(6), 1170-1174.
- Rychlik, W. J. S. W., Spencer, W. J., & Rhoads, R. E. (1990). Optimization of the annealing temperature for DNA amplification in vitro. *Nucleic acids research*, 18(21), 6409-6412.

Análisis de captura de carbono en seis especies forestales nativas (3 esciofitas-3 heliofitas) plantadas con fines de restauración en el Parque Ecológico La Poma (PEP) - sabana de Bogotá – Colombia

Bayron David Díaz Cepeda,¹ Luisa Fernanda Velásquez Camacho^{2*}

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería Forestal. Corporación Ambiental Empresarial -CAEM-, Programa Hojas Verdes. Av. Cra. 68 N° 35-15 Sur, Bogotá D. C., Colombia.

²Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería Forestal. Corporación Ambiental Empresarial -CAEM-, Programa Hojas Verdes. Av. Cra. 68 N° 35-15 Sur, Bogotá D. C., Colombia.

*Autor para correspondencia: luisfernandavelasquezcamacho@gmail.com

RESUMEN

Se presentan los resultados de la determinación de carbono orgánico realizado para seis especies forestales (aliso, cedro, mano de oso, guayacán de Manizales, roble, encenillo) en hojas, ramas, fuste y raíces. Las plantas evaluadas se encuentran en el Parque Ecológico La Poma (PEP. N, 991854.50 – E, 977425.32), ubicado en el municipio de Soacha-Cundinamarca. Se realizaron análisis químicos en muestras de 100 g de materia seca para calcular el carbono contenido, utilizando la metodología de Walkley y Black, encontrando diferencias significativas por especie e individuo, siendo el guayacán de Manizales la que presentó respecto a su biomasa la mayor relación de carbono, con hasta un 40 % en relación a la muestra. Por otro lado, las especies de más lento crecimiento como el roble invierten la mayor parte del carbono absorbido en el fuste, más del 50 % destinado a la formación de tejidos lignificados. Y en especies de rápido crecimiento hasta un 30 % en el sistema radicular buscando suplir la demanda de agua y nutrientes.

Palabras clave: biomasa, captura de carbono, Parque Ecológico La Poma (PEP), restauración.

Editor: Hernández Fernández, J.

Citation: Díaz, B. & Velásquez, L. (2015). Análisis de captura de carbono en seis especies forestales nativas (3 esciofitas-3 heliofitas) plantadas con fines de restauración en el Parque Ecológico La Poma (PEP) - sabana de Bogotá - Colombia. *Revista Mutis 5(2)*; págs. 46-54.

Received: December 31, 2015. **Accepted:** September 5, 2015. **Published on line:** December 31, 2015.

Copyright: ©2015 Díaz, B. & Velasquez, L. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Analysis of carbon sequestration in six forest species native (3 shade tolerant -3 heliophilous) planted for the purpose of restoring the ecological park in “La Poma” (PEP) - Savannah of Bogota - Colombia

ABSTRACT

There appear the results of the organic carbon determination to the different air components (leaves, branches, and shaft) and tubes (roots) evaluated forma six forestal species (Aliso, Cedro, Mano de Oso, Guayacán de Manizales, Roble, Encenillo) found in the Ecological



Park “La Poma” ubicada en Soacha – Cundinamarca (PEP, N, 991854.50 – E, 977425.32). It was made a chemical analyses in samples of 100 g of dry matter for estimate the carbon contained, using the Walkley & Black’s methodology, finding significant differences species and individuals, being Guayacán de Manizales the one that presents with regard to its biomass the biggest carbon relation with up to 40 % as regards the sample. On the other hand, the species of slower growth as Roble, they invest most of the carbon absorbed in the shaft, more than 50 % destined to production lignified tissues. And a rapid growth species up to 30 % in the radicular system, looking about how to fulfill the water and nutrients demand.

Keywords: biomass, carbon capture, Ecological Park “La Poma” (PEP), restoration.

INTRODUCCIÓN

Se estima que la superficie forestal a nivel mundial tuvo pérdida neta de cerca de 5,3 millones de ha/año en el período 1990-2010 (D’Annunzio *et al.*, 2010), encontrando los niveles más altos de deforestación en los países suramericanos (MINAM, 2014). Colombia posee 114 millones de hectáreas de extensión continental de las cuales alrededor de 61 millones están cubiertas por bosques naturales y 350 mil son plantaciones forestales, ocupando respecto a cobertura forestal tropical el séptimo lugar, lo que representa el 6.42 % de la oferta total para América del Sur y el 1.5 % de los bosques del mundo (Ucros, 2008).

Los procesos de deforestación generan emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por la descomposición de los organismos vivos. Para el período comprendido entre 1970 y 2010 las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GHG por sus siglas en inglés), según el FOLU (Forestry and Other Land Use), estuvieron entre el 11 % y el 17 % (IPCC, 2014). A partir de esta problemática los gobiernos alrededor del mundo lanzaron iniciativas internacionales y locales con el ánimo de mitigar y reparar este fenómeno.

Las especies arbóreas, como principales indicadores de cambios, han sido las relatoras de la historia a lo largo de la humanidad. El aumento de tamaño relacionado con el período de tiempo que toman dichos cambios, son indicadores claros de variaciones ambientales que generan algún tipo de estrés o condiciones óptimas para el crecimiento (Niklas, 1995).

Sposito *et al.* (2001) Afirman que de acuerdo a las características ecológicas y funcionales que rodean a cada una de las especies, se origina que la constante alométrica tienda a variar casi individualmente, como ejemplo se tiene incremento del diámetro en especies que se encuentran cercanas a fuentes hídricas o aumento en altura cuando es mayor la densidad de siembra y existe competencia por luz (Palacios, 2005).

La estimación de la biomasa, resulta ser una herramienta eficaz para confirmar la importancia de los bosques en las emisiones evitadas, con montos de carbono potenciales que podrían ser liberados a la atmósfera (Gower, 2003). El carbono entra al ciclo biológico a través de la fotosíntesis en organismos fotoautótrofos, formando así la mayor parte de la materia orgánica de la superficie terrestre (Cubero, 1999).

El estudio analiza los datos del informe “Crecimiento, biomasa acumulada y carbono capturado por 25 especies de árboles y arbustos nativos de la cordillera oriental colombiana” (2014), donde se seleccionaron 6 especies, 3 esciófilas (*Lafoensia acuminata* Ruiz & Pav., *Quercus humboldtii* Bonpland 1809 y *Weinmannia tomentosa* L. f. 1782) y 3 heliófilas (*Alnus acuminata* Kunth 1817, *Cedrela montana* Moritz ex Turcz 1858, y *Oreopanax floribundum* Decne & Planch 1854). Estas plantas fueron seleccionadas específicamente por el inventario del parque, teniendo una alta importancia para la diversidad del ecosistema alto andino, mediante el método de medición directa de masa seca, la cantidad de carbono fijado en sus partes y la capacidad de absorción durante los primeros 10 años de vida.

De acuerdo a los anteriores principios y conceptos, se ha logrado la utilización de las especies forestales como mitigadoras del cambio climático global, a partir de la captura del CO₂ atmosférico que ellas realizan, con el propósito de disminuir las concentraciones de este gas de efecto invernadero (GHI); por ende este trabajo va enfocado a vislumbrar el potencial de las especies forestales nativas como almacenadoras de carbono en un clima cambiante.

Los resultados de la investigación hacen parte de las acciones desarrolladas por la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), siendo esta la primera publicación parcial de lo que se espera sea una gran base de conocimientos acerca del bosque seco montano, y su capacidad en la captación de CO₂ y alternativa de mitigación del cambio climático en la sabana de Bogotá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el Parque Ecológico la Poma (PEP), localizado en el departamento de Cundinamarca, 1,5 km adelante del peaje de Chusacá (vía Bogotá-Silvania), propiedad de la Empresa de Energía de Bogotá, haciendo parte de la vereda Alto de la Cruz, perteneciente al municipio de Soacha y con gran influencia del municipio de Sibaté (figura 1). Este complejo ecológico de 140 hectáreas conforma un fragmento de la cuenca de la quebrada El Rodeo que pertenece a la cuenca del río Bogotá, y según la clasificación de Holdridge, se encuentra en la formación vegetal de bosque seco montano bajo (BS-MB) (Rojas, 1999).

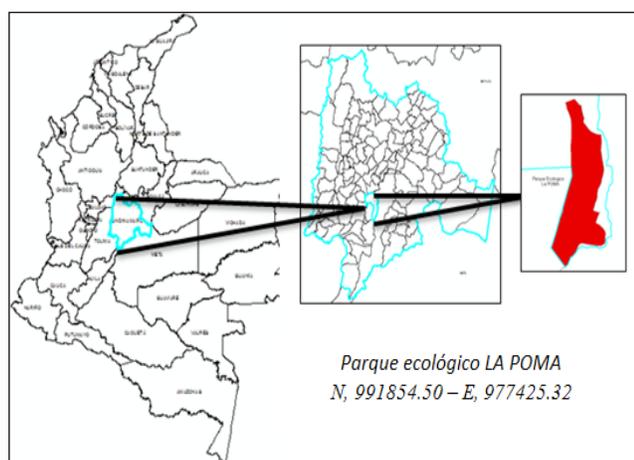


Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Ecológico la Poma (PEP N, 991854.50 - E, 977425.32) sitio en donde se evaluaron las especies.

El PEP se localiza en la Cordillera Central, con formaciones sedimentarias pertenecientes al gran complejo de Guadalupe, caracterizado por la presencia de grandes cuevas monoclinales, colinas erosionales y coluvios. Los suelos del PEP tienen gran influencia volcánica, generando una serie de características detalladas sobre las arcillas, con cualidades de profundidad y fertilidad moderadas (IGAC, 2000).

El área de estudio se encuentra ubicada entre los 2600 y 2800 metros de altitud, una temperatura media que oscila entre los 12,5 y 13 °C, un régimen de precipitación bimodal que alcanza 570 mm de lluvia al año y una evapotranspiración potencial de 949 mm anuales, configurando un clima seco, con un déficit hídrico que alcanza los 490 mm (Rodríguez, 2010).

Toma de datos

La información procede del informe de CAEM (Rodríguez, 2014), de donde se seleccionaron tres (3) especies heliófilas y tres (3) esciófilas –anteriormente mencionadas– y considerando cinco categorías (edades de 2, 4, 6, 8 y 10 años), tomando como base el inventario anual del parque, escogiendo aquellas especies que presentan una mayor frecuencia en los diferentes cuadrantes en los que se divide el parque; además de seleccionar especies altamente representativas para el tipo de ecosistema y de gran uso comercial en la sabana de Bogotá. Finalmente se realizó el análisis de 30 individuos de cada una de las categorías de edad. En cada una de las especies se evaluaron en pie todas las variables dasométricas: diámetro normal (DN) en cm, altura total (HT) en m, altura a la base de la copa (HBC) en m, diámetros de copa (DC) en m y diámetro en la base del fuste (DBF) en cm (Rodríguez *et al.*, 2014). También se realizó evaluación precosecha y poscosecha de individuos, y finalmente una evaluación en laboratorio de carbono orgánico contenido en cada uno de los componentes de la planta.

Modelos alométricos

Inicialmente se realizaron modelos alométricos de crecimiento en altura y diámetro para todas las especies utilizadas en el proceso de restauración ecológica, correlacionadas directamente con la edad de cada uno de los individuos. Al conocerse estos valores se realizó un análisis diferencial del carbono contenido en cada una de las partes de la planta (hojas, ramas, raíces y fuste), que permite encontrar fisiológicamente el porcentaje de carbono utilizado en constitución de tallos lignificados y sistema radicular, lo cual está relacionado con el tipo de planta.

En la determinación del carbono orgánico para los diferentes componentes aéreos y subterráneos evaluados, se realizaron análisis químicos en muestras de 100 gr de materia seca, utilizando la metodología de Walkley y Black (1934) (se basa en la valoración con dicromato (VI) en medio ácido), en el laboratorio LASEREX de la Facultad de Química de la Universidad del Tolima (Rodríguez *et al.*, 2014), esta metodología utilizada desde 1938, sigue teniendo acogida dada la simplicidad de las pruebas, recurriendo a la prueba normalizada de carbono orgánico medible mediante la oxidación.

Análisis estadístico

La especie que presenta mayor representatividad en cuanto a cantidad de carbono almacenado es el roble, con 92.5 equivalente CO₂, con intervalos de confianza de -1.711892 a 186.799892. Para el aliso una media de 12.1, con intervalos de confianza a un 95% de confianza de -7.682371 a 32.054371. Para el ce-

dro una media de 66.3 y unos intervalos de confianza -44.92465 a 177.53665. Para el encenillo una media de 16.23 y unos intervalos de confianza de -6.666385 a 39.126385, para guayacán de Manizales una media de 25.3 y unos intervalos de confianza de -1.871197 a 52.479197, en cuanto al mano de oso se encontró una media de 28.32 y unos intervalos de confianza de -10.05724 a 66.70524.

Tabla 1. Intervalos de confianza en análisis estadístico determinado para la cantidad de carbono almacenado para seis especies forestales evaluadas en el PEP-Soacha.

	Aliso	Cedro	Encenillo	Guayacán	Mano de oso	Roble
Media	12.186	66.306	16.23	25.304	28.324	92.544
Desviación Estándar	16.00141	89.58192	18.44008	21.88611	30.91113	75.91095

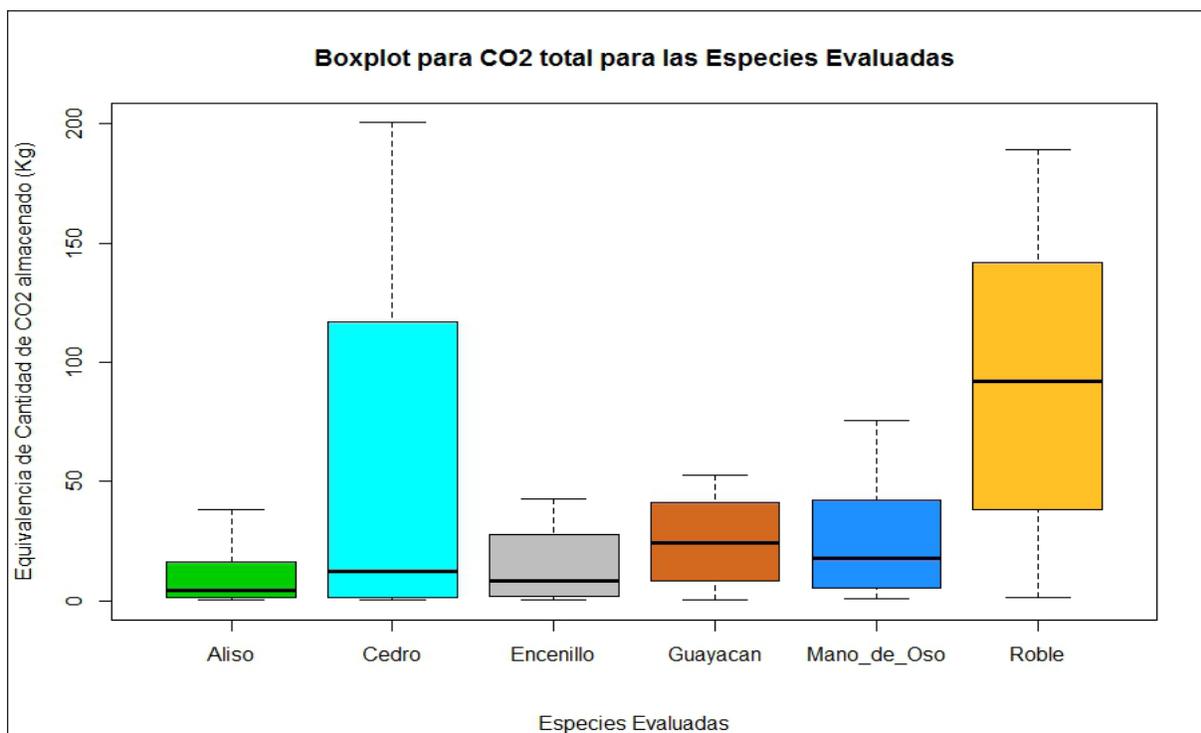


Figura 2. Boxplot para el dióxido de carbono evaluado para las seis especies forestales en el PEP-Soacha.

Se establecen dos hipótesis iniciales por medio del Boxplot (ver figura 2), una de ellas es que el roble con respecto a la variable equivalencia de cantidad de CO₂ (kg), presenta diferencias significativas con respecto a las demás especies (aliso, cedro, encenillo, guayacán y mano de oso) con respecto a su mediana, la otra hipótesis, es que no existen diferencias significativas

entre las especies con respecto a la variable equivalencia de cantidad de CO₂ (kg), el cedro es el que presenta mayor desviación, seguido del roble, el resto de especies presentan desviaciones por debajo de 30. No se presentan datos atípicos para ninguna especie, y la mediana más alta la tiene la especie roble, con una media de 92 CO₂ (kg).

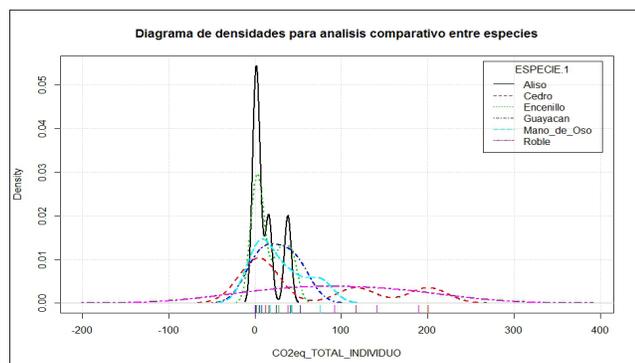


Figura 3. Diagrama de densidades para el análisis comparativo entre las seis especies forestales evaluadas en el PEP-Soacha.

Para este análisis de densidades por el método de la función núcleo Gaussiano (ver figura 3) se estimaron las densidades dentro de un análisis multidimensional. Se encontraron los comportamientos de cada una de las especies con respecto a la variable de equivalencia de CO₂ (kg). Aliso es la planta que presenta mayor captura de carbono en un corto período de tiempo, mientras que en sus años subsiguientes presenta valores más bajos, mientras que las demás especies (exceptuando al roble y al guayacán de Manizales los cuales presentan una captura de carbono homogénea y con una distribución normal), muestran una distribución en intervalos con distribución multinomial, la cual se aduce a que capturan carbono de manera diferente en sus ciclos de vida (10 años máximo).

Tabla 2. Análisis de supuestos de normalidad Shapiro Wilk para seis especies evaluadas en el PEP-Soacha.

Especie	Discrepancia	Estadístico	Hipótesis aceptada
Aliso	0.8193	0.1152	Nula
Cedro	0.8086	0.09508	Nula
Encenillo	0.8719	0.2743	Nula
Guayacán	0.9545	0.7691	Nula
Mano de oso	0.8977	0.3972	Nula
Roble	0.9749	0.9057	Nula

Para el análisis de los supuestos de normalidad (ver tabla 2), se realizó una prueba Shapiro Wilk, teniendo una H₀: los datos presentan una distribución normal y H_a: los datos no presentan una distribución normal, obteniendo estadísticos mayores a 0.05 y una discrepancia máxima de 0.9 entre todas las especies y un nivel de significancia del 0.05; de esta forma no existe evidencia suficiente para rechazar la H₀. Se considera que los datos cumplen una distribución normal para todo el grupo de especies que relacionan la cantidad de carbono almacenado (kg).

Respecto a la relación de carbono contenido, la especie que presentó mayor relación es *L. acuminata*, que almacena en relación con la biomasa hasta un 40 % de carbono en una muestra de 100 g, seguido por el *W. tomentosa* que reportó su mayor participación de carbono contenido en el sistema foliar (figura 4).

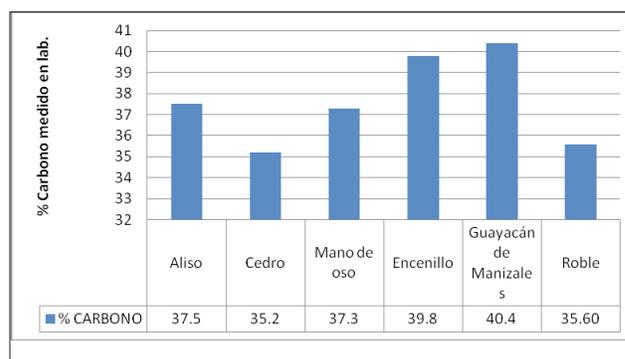


Figura 4. Porcentaje de carbono obtenido del análisis realizado en el laboratorio LASEREX para seis especies forestales procedentes del PEP-Soacha.

Tabla 3. Relación peso-carbono contenido reportado en pruebas de laboratorio para seis especies forestales procedentes del PEP-Soacha.

Especie	Nombre científico	DM (g/cm ³)	% de carbono
Aliso	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	0,53	37,5
Cedro	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz	0,3	35,2
Guayacán de Manizales	<i>Lafoensia acuminata</i>	0,57	40,4
Roble	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpland	0,57	35,60
Encenillo	<i>Weinmannia tomentosa</i> L. f.	0,55	39,8
Mano de oso	<i>Oreopanax floribundum</i> Decne & Planch	0,34	37,3

Como se observa en la tabla 3, el roble presentó la mayor densidad básica reportada en laboratorio con 0,57 g/cm³. Morfológicamente, la especie genera en los primeros años de vida una gran cantidad de hojarasca para suplir su necesidad de luz en su etapa ini-

cial, dado que naturalmente se desarrolla en el sotobosque (Chazdon *et al.*, 2002), pero la mayor cantidad de CO₂ está concentrado en el fuste, donde la cantidad de fibras aumenta y el material lignificado es alto desde edades tempranas (ver figura 5).

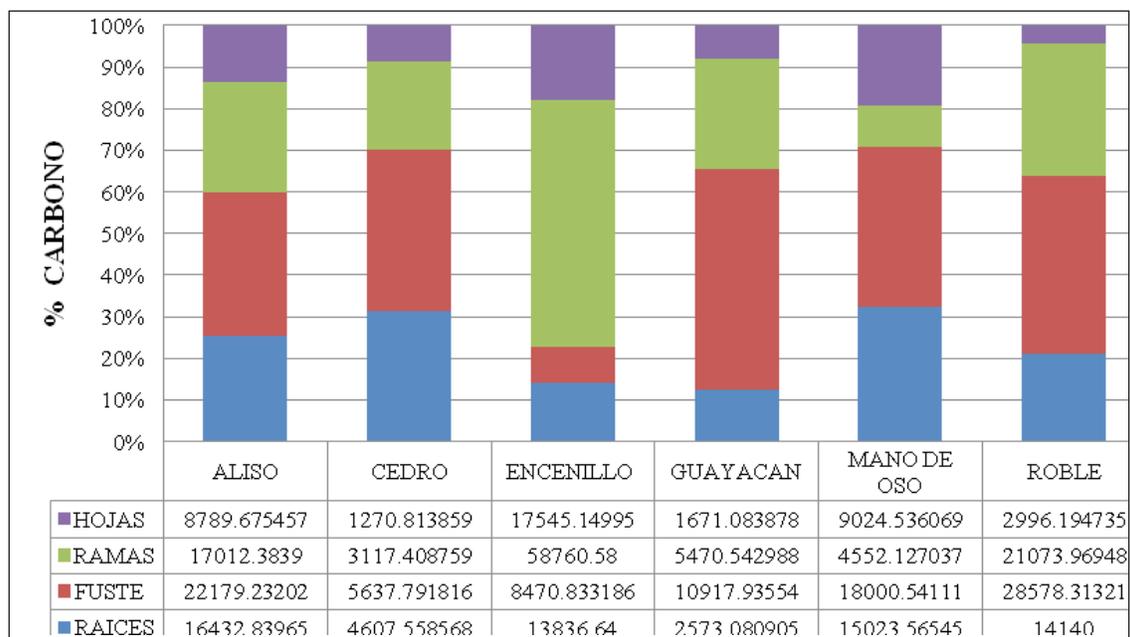


Figura 5. Distribución diferencial de carbono según componentes (aéreos y subterráneos) reportado para seis especies forestales procedentes del PEP-Soacha.

Las especies pioneras ocupan grandes espacios de manera muy rápida, invirtiendo su energía en la formación de sistema radicular que garantice la captación de agua y nutrientes en ambientes difíciles, además de una gran cantidad de formación de dosel forestal lo que da paso a la aparición de especies esciofitas. Las plantas heliófilas presentan maderas livianas,

ya que el carbono absorbido se concentra en la formación de otros componentes (Mack *et al.*, 2000). En contraste se puede observar cómo especies como el aliso, el cedro y el mano de oso, presentan tasas de inversión menores en lo referente a tejidos aéreos lignificados en las primeros años.

Se refleja la distribución diferencial de carbono contenido según los componentes de la planta en cada una de las especies (ver figura 5). Teniéndose dos condiciones en los grupos de plantas, las especies de más lento crecimiento como el roble y el guayacán invierten la mayor parte del carbono absorbido en el fuste, siendo superior al 50 % en formación de tejidos lignificados. En especies como el encenillo, se invierte la mayor cantidad de carbono en la formación de ramas, sobre todo en etapas tempranas y se tienen las especies de rápido crecimiento que invierten hasta el 30 % del carbono absorbido en el sistema radicular.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La condición del PEP, al ser un área de reforestación con fines de restauración, hace que la exposición a la radiación solar sea alta en todas las especies; por este motivo, el roble o el encenillo evolutivamente incrementan la producción de sistema foliar para suplir la necesidad de luz, y han invertido su energía en la producción de elementos lignificados (Chazdon *et al.*, 2002).

Gran determinante en la cantidad de biomasa registrada para especies como el cedro y el mano de oso se remite a las condiciones climáticas del bosque seco montano bajo, y al déficit hídrico que determina que las plantas inviertan mayor cantidad de energía en su sistema radicular garantizando así la adecuada captación de agua (Hayashida *et al.*, 2003).

En contraste con lo anterior, el CO₂ total contenido en cada una de las especies varía fuertemente en comparación con el carbono medido en laboratorio. Las especies que menor reporte dieron con las pruebas de peso seco (metodología Walkley y Black) son las que mayores concentraciones de CO₂ reportaron.

El roble y el cedro incrementan considerablemente la captación de CO₂ a lo largo de sus primeros 10 años. El cedro presenta comportamiento abrupto en el año seis (6) incrementando su capacidad de absorción y captación de CO₂, en relación directa con el aumento en el diámetro de su copa y el desarrollo de la bóveda forestal hasta en un 146 % respecto a lo reportado para los cuatro y dos años, esto conlleva al aumento en la capacidad fotosintética de la planta que se evidencia en mayor captación de CO₂ (Melo *et al.*, 2014) (tabla 4).

Tabla 4. Reporte del incremento de CO₂ equivalente capturado en cinco rangos de clase para seis especies forestales procedentes del PEP-Soacha.

Edad	Aliso	Cedro	Mano de oso	Roble	Encenillo	Guayacán de Manizales
2	0,30595248	0,11	0,813861314	1,33	0,38	0,25456864
4	1,30673087	1,58	5,435458421	38,16	1,86	8,27336989
6	4,57874179	12,23	17,65446622	92,27	8,26	24,3037392
8	16,2709823	117,02	42,08958765	141,68	27,92	40,9856877
10	38,4595899	200,59	75,63437039	189,28	42,73	52,7057268

El roble tiene un comportamiento mucho más estable desde el inicio de su vida, lo que revela la importancia de su utilización en temas de compensación por emisión y tala, dado que contribuye fuertemente a la captura del CO₂ atmosférico con 189 kg de este compuesto en los primeros 10 años de vida, sin que llegue a tener aumento considerable en su diámetro o altura (figura 6).

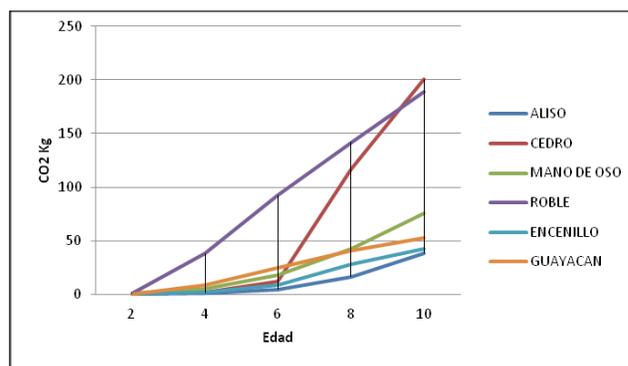


Figura 6. Dióxido de carbono equivalente total contenido, reportado para seis especies forestales procedentes del PEP-Soacha.

CONCLUSIONES

La distribución diferencial del carbono contenido por componente en cada una de las especies evaluadas, permite ampliar la selectividad de estas en proyectos de reforestación y determinar su manejo.

La metodología de estimación de carbono contenido de manera diferencial muestra cómo el *Q. humboldtii* concentra mayor cantidad de este elemento de manera homogénea invirtiendo casi el 40 % de su biomasa en la constitución de elementos lignificados como tallos y ramas. Se encontró que el *A. acuminata* es quien más presenta captura de carbono en un corto período de tiempo, mientras que en sus años subsiguientes presenta valores más bajos.

Los resultados de la investigación contribuyen a entender el comportamiento de las especies a la especialización dentro de su gremio ecológico, encontrándose que aquellos individuos pertenecientes a grupos de especies de rápido crecimiento invierten el mayor número de biomasa en su sistema radicular, intentando garantizar la disponibilidad de agua y nutrientes, mientras que especies de crecimiento tardío invierten su energía en la producción de componentes lignificados que a su vez sirven de bóveda de CO₂.

Aunque los niveles de captura son bajos en este tipo de ecosistemas, se puede evidenciar la importancia de las especies estudiadas dentro de la consolidación de bosques importantes y escasos en la sabana de Bogotá, donde se espera que los proyectos de reforestación con fines de restauración aumenten, evitando no solo el proceso de pérdida de suelo sino la regulación del ciclo de carbono contribuyendo directamente con la desaceleración del cambio climático, participando de esta manera en su mitigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de la Corporación Ambiental Empresarial con el programa de Hojas Verdes que lleva más 30 años contribuyendo a la reforestación de áreas degradadas en la sabana de Bogotá, por lo que sin este tipo de esfuerzos la academia no contaría con las herramientas necesarias para generar conocimiento. Al ingeniero Ferney Rojas, por su compromiso y colaboración en todo el proceso de formación académica y profesional. A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por haber permitido

el acceso a las bases de datos, darnos las bases y aportes para dar luz a la investigación y finalmente al ingeniero Lyndon Carvajal por su apoyo y colaboración.

REFERENCIAS

- Chazdon, R. A., Montgomery, R. A. (2002). La adquisición de carbono en las plantas. In: Guariguata, M.R., Catan, G.H. (Eds.) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Tecnología de Costa Rica.
- Cubero, J. A., Rojas, S. (1999). *Fijación de carbono en plantaciones de melina, teca y prochote en los cantones de Hojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Costa Rica.
- D'Annunzio, R., Lindquist, E., & MacDicken, K. (2010). Global forest land use change from 1990 to 2010: an update to a global remote sensing survey of forests. Consultado en octubre 10, 2015, desde http://foris.fao.org/static/idf/RSS_2010update.pdf
- FAO. (2014). *El estado de los bosques en el mundo*. Consultado en octubre 11, 2015, desde <http://www.fao.org/3/a-i3710s.pdf>
- Gower, S. T. (2003). Patterns and mechanisms of the forest carbon cycle. *Annual Review Environmental Resources*. 28:169-204. Consultado en octubre 12, 2015, desde http://www.researchgate.net/publication/234150219_Patterns_and_mechanisms_of_the_forest_carbon_cycle
- Greenpeace (SA). Captura y secuestro de carbono (CSC), una inyección arriesgada. Consultado en octubre 10, 2015, desde <http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/captura-y-secuestro-de-carbono.pdf>
- Hayashida, O., Boot, R. G. A., Poorter, L. (2001). Influencia de la disponibilidad de agua y luz en el crecimiento y la morfología de plantines de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Bertolletia excelsa*. *Ecología en Bolivia*. 35: 51-60.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). *Monitoreo y seguimiento al fenómeno de la deforestación en Colombia*. Consultado en octubre 10, 2015, desde

- <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?l-Servicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1901>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. Bogotá. Colombia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. (The Core Writing Team, R. Pachauri, & L. Meyer, Eds.). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Marck, R. Simberloff, D. Lonsdale, W (2000). Invasiones biológicas: Causas, epidemiología, consecuencias globales y control. *Tópicos en Ecología*. Sociedad Norteamericana de Ecología. Número 5.
- Melo, O., Rodríguez, N., Rojas, F., Ochoa, A. (2014). *Captura de carbono y patrones de arquitectura foliar asociados al crecimiento funcional de 25 especies leñosas nativas de la cordillera oriental, utilizadas en restauración ecológica en la Sabana de Bogotá*. Soacha. Colombia.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). *¿Cuántos bosques hay en el mundo y cuál es su impacto económico?* Consultado en octubre 13, 2015, desde <http://www.minam.gob.pe/programa-bosques/cuantos-bosques-hay-en-el-mundo-y-cual-es-su-impacto-economico/>
- Niklas, K. J. (1994). *Plant allometry: The scaling of form and process*. University of Chicago Press. Chicago. United States.
- Palacios, T. (2005). *Evaluación del crecimiento y el potencial de captura de carbono, de dieciséis especies arbóreas en dos condiciones de luz de invernadero*. Universidad Autónoma "Gabriel Rene Moreno", Facultad de Ciencias Agrícolas. Ingeniería Forestal. Santa Cruz. Bolivia.
- Rodríguez, N. (2010). *Determinación del carbono capturado por cinco especies arbóreas y arbustivas del bosque seco altoandino en el Parque Ecológico La Poma*. (Tesis inédita de pregrado). Ibagué, Universidad del Tolima. 85 p.
- Rodríguez, N., Melo, O., Ochoa, A. & Rojas, F. (2014). *Crecimiento, biomasa acumulada y carbono capturado de 25 especies de árboles y arbustos nativos de la cordillera oriental colombiana*. Corporación Ambiental Empresarial. Fundación Natura.
- Rojas, F. (1999). *Evaluación de técnicas silviculturales y ecológicas en el manejo de la regeneración natural y reconstrucción de bosques andinos de la Cordillera Oriental*. Parque Ecológico La Poma. Bogotá, Colombia.
- Sposito, T. C. & F. A. M. Santos. (2001). Sacling of stem and crown in eight Cecropias (Cecropiaceae) species of Brazil. *American Journal of Botany*.
- Ucrós, J. (2008). *Breve historia y situación actual del patrimonio forestal colombiano*. Consultado en octubre 8, 2015, desde <http://www.fao.org/forestry/17272-09c7bb88cbaad85cf5c312d8422b30afb.pdf>
- Walkley, A. & I. A. Black. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.

Influencia de los materiales cerámicos en colectores solares de placa plana para precalentamiento de agua en procesos agroindustriales

Leonardo Alonso,^{1*} Mario Bernal,² Gabriel Camargo²

¹Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.

²Universidad Libre de Colombia, Bogotá, Colombia.

*Autor para correspondencia: lalonso@unillanos.edu.co

RESUMEN

El uso de materiales cerámicos en colectores para uso de energía solar térmica se ha incrementado últimamente. Se determinaron las diferencias presentadas entre diferentes cerámicas fabricadas a 3626 y 5222 psi instaladas en dos colectores de área efectiva de 0,36 m². El objetivo este tipo de colectores es lograr eficiencia energética para empresas agroindustriales que usan agua a temperatura cercana a su punto de ebullición a presión atmosférica. El colector está constituido por una matriz de cerámica que cumple la función de absorber la energía solar y un contenedor de acero inoxidable aislado donde el agua es almacenada. Los experimentos fueron a nivel de laboratorio a 400, 500, y 750 W/m² en un simulador de radiación solar. Un completo análisis desde la perspectiva de la segunda y la primera ley de la termodinámica fue hecho para calcular la eficiencia del colector solar. Los resultados mostraron que la eficiencia global del colector solar de matriz cerámica fue de 59 % a 400 W/m² con cerámica compactada a 5222 psi.

Palabras clave: Colector solar integrado, análisis energético y exergético, matriz cerámica, agroindustria.

Editora: Pataquiva-Mateus, A.Y.

Citation: Alonso, L., Bernal, M. & Camargo, G. (2015). Influencia de los materiales cerámicos en colectores solares de placa plana para precalentamiento de agua en procesos agroindustriales. *Revista Mutis 5(2); págs 55-66.*

Received: September 23, 2015. **Accepted:** December 3, 2015. **Published on line:** December 31, 2015.

Copyright: ©2015 Alonso *et al.* This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Influence of ceramic materials on solar storage collector used to preheat water in agro-industrial processes

ABSTRACT

The uses of ceramic materials in solar collectors for passive application of solar energy have been increasing lately. This paper deals with an experimental study of an inexpensive solar storage collector to provide hot water. The purpose of using this type of collector is to achieve energy efficiency for agribusinesses that need water at temperatures near its boiling point at atmospheric pressure. The solar collector is

constituted by two different ceramic absorber matrix manufactured at 3626 and 5222 psi pressing pressures, which perform the function of absorb and store the solar thermal energy. The second element in the collector is an isolated stainless steel container where water is stored. The experiments were carried out within an indoor environment at 400, 500 and 750 W/m² in a solar radiation simulator. An energy and exergy analysis were done to calculate efficiency of the solar collectors. The results show that the overall efficiency of the solar collector is 59% at the lowest radiation and ceramic compacted at 5222 psi.

Keywords: Ceramic matrix, Energy and exergy studies, Integrated Solar storage collector, agribusiness.

INTRODUCCIÓN

Es notoria a nivel mundial la tendencia en la utilización de energías alternativas a cambio de los combustibles fósiles. En primer lugar, porque los combustibles fósiles como el gas y el petróleo, son recursos que a corto plazo no pueden ser renovados y la demanda de energía a nivel mundial está en constante crecimiento. Dentro de este consumo, los edificios consumen un tercio del total de la energía ofrecida en países desarrollados y un cuarto en países en desarrollo (Pinel, Cruickshank, Beausoleil-Morrison, and Wills, 2011).

El calentamiento del agua con energía proveniente del sol permite un importante ahorro de energía y ayuda a cuidar el medio ambiente. Una de las posibilidades de aprovechamiento alternativo de la energía son los captadores solares para precalentamiento de agua en industrias. El calentamiento solar a través de colectores solares planos logra elevar la temperatura del agua a temperaturas superiores a 75 °C, que es la necesaria para pasteurizaciones lentas, por lo que se puede aplicar en procesos industriales que necesitan agua a dichas temperaturas o como un sistema de precalentamiento para procesos posteriores de evaporación, disminuyendo así los gastos energéticos.

En este análisis experimental se promueve como componente de innovación el uso de materiales cerámicos en el aprovechamiento energético, a diferencia de los sistemas tradicionales que capturan la energía y la entregan al agua; aquí se pretende usar la ma-

triz cerámica como componente que permite capturar, conducir y aislar la energía al interior de la matriz donde se ubica el contenedor de agua. Bougiatioti y colaborador plantean que es necesario utilizar los edificios y especialmente sus techos en todos los centros urbanos, ya que representan extensas superficies en las que los sistemas activos solares pueden estar integrados (Bougiatioti & Michael, 2015).

Xiao *et al.* Resaltan el potencial arquitectónico de este tipo de colectores y los bajos costos de la cerámica, la expresión “bajo costo” no solo significa la baja inversión en materiales para coleccionar la energía solar, sino también una vida útil más larga (Sun, Sun, Li, Wang, He, & Wang, 2014).

Zhang y colaboradores reportan un importante incremento en los estudios relacionados con fachadas solares térmicas activas, denominadas ASTF por sus siglas en inglés (Zhang *et al.*, 2015). Dichos estudios dejan preguntas de investigación que tienen que ver con: diseño, dimensionamiento y optimización de la estructura global de los colectores y del diseño de los componentes de manera individual; métodos de medición experimental; ahorro de energía, y evaluación del desempeño económico y ambiental.

Colombia tiene ventajas geográficas por estar en el trópico, para la implementación de este tipo de equipos de bajo costo, ya que tiene una disponibilidad promedio multianual de energía solar de 1.643 kWh/m²/año (UPME, Ideam, 2005) y una demanda mensual de energía eléctrica que ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, siendo un promedio de 5.166,89 GWh, con una capacidad real de generación de 5.310 GWh (UPME, 2005). Además, en el país existen leyes que fomentan el uso racional y eficiente de la energía dentro de las que se destacan la Ley 697 de 2001 (Ley URE, uso racional de la energía) el decreto 3683 de 2003 y la Ley 1715 de 2014 que tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía; lo anterior genera un régimen legal para el desarrollo de estas tecnologías en Colombia.

El objetivo de este trabajo fue construir dos prototipos de colectores integrados en los que se utilizaron dos tipos de cerámica, compactados a 3626 y 5222 psi. Con los equipos construidos y funcionales, se adaptaron sistemas de adquisición de datos. Los datos obtenidos fueron validados mediante análisis estadísticos

y posteriormente, después de comprobados, los resultados se analizaron mediante los programas Design Expert y Excel. Con los resultados del análisis exergético se pudo conocer qué aspectos del diseño y del proceso son susceptibles de mejorar, con lo que se puede aumentar aún más la eficiencia energética de la innovación propuesta.

Se compararon las eficiencias de los dos colectores con las de calentadores solares de agua convencionales, que normalmente cuentan con un captador metálico y un tanque de almacenamiento.

Nomenclatura				
Dimensión	Descripción	Unidades	Sufijo o letra griega	Descripción
Ac	Área de la superficie transparente frontal del colector	(m ²)	η	Eficiencia térmica del colector
Ma	Masa de agua en el tanque (fluido de transferencia)	(Kg)	η_0	Eficiencia instantánea
Mc	Masa del colector (cerámica)	(Kg)	η_{II}	Eficiencia exergética
Tf	Hora de finalización	(H)	$\tau\alpha$	Eficiencia instantánea
Ti	Hora de iniciación	(H)	α_0	Considera efectos del umbral
FR	Factor de transferencia de calor		α_1	Capacidad de la cerámica para captar y convertir la radiación solar
Tw	Temperatura del agua	(K, °C)	α_2	Tiene que ver con las pérdidas de calor del sistema durante el día
TA	Temperatura del absorbedor	(K, °C)	QA	Radiación solar absorbida
Te	Temperatura del ambiente	(K, °C)	Qs	Calor acumulado
Tm	Temperatura promedio del intervalo ΔT	(K, °C)	Qu	Calor útil
Ts	Temperatura aparente del sol	(K, °C)	Qp	Calor perdido
T0	Temperatura de salida	(K, °C)	UL	Coefficiente de pérdida de calor
Tin	Temperatura de entrada	(K, °C)	Exe	Exergía de entrada
ΔT	Diferencia de temperatura entre un tiempo inicial y un tiempo final	(K, °C)	Exs	Exergía almacenada
G	Irradiancia solar global sobre el plano del colector	(W/m ²)	ExD	Exergía destruida

ANÁLISIS ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO

Se pretende analizar desde la primera y la segunda ley de la termodinámica los datos obtenidos en los ensayos experimentales usando el método propuesto por Hazami y colaboradores, pero con la modificación de material cerámico en lugar de concreto (Hazami, Kooli, Lazâar, Farhat, & Belghith, 2010).

La primera ley ha sido ampliamente usada en prácticas de ingeniería y es la base para los balances de

energía que son aún más comunes en análisis de rendimiento.

En este análisis energético, para evaluar el Colector Solar Integrado de Matriz Cerámica (CSIMC), es esencial conocer el grado con el que la radiación solar incidente es transformada en calor y transferida al fluido caloportador, es decir, la eficiencia energética del colector. El modelo teórico utilizado para el estudio del CSIMC consiste en un balance energético en el colector cuyas variables pueden observarse en la figura 1.

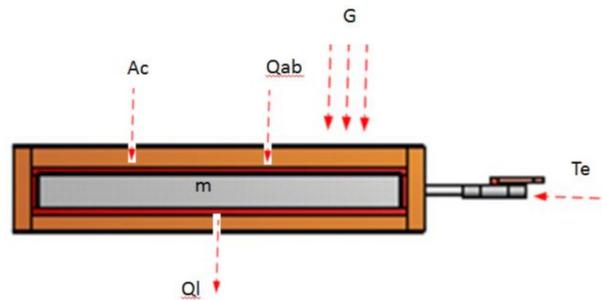


Figura 1. Esquema de las variables analizadas en un CSIMC.

Análisis energético

En el balance energético se tuvieron en cuenta la temperatura inicial y final del agua, teniendo presente la temperatura del medio ambiente. Cabe anotar que el proceso se manejó en un sistema totalmente estacionario, sin flujo del fluido caloportador.

$$[Q \text{ absorbida}] = [Q \text{ acumulada}] + [Q \text{ utilizable}] + [Q \text{ perdida}] \quad [Q \text{ absorbida}] = [Q \text{ acumulada}] + [Q \text{ utilizable}] + [Q \text{ perdida}] \quad (1)$$

$$[Q \text{ absorbida}] = Q_A(W) = \eta_0 G A_c \quad (2)$$

En la ecuación (2), η_0 es la fracción de la radiación solar absorbida por la matriz cerámica, G es la radiación solar expresada en W/m^2 y A_c es el área del colector expresada en m^2 .

$$[Q \text{ acumulada}] = Q_s(W) = M_c C_{pc} \frac{dT_A}{dt}; \quad (3)$$

En la ecuación (3), se multiplica la masa de la matriz por el calor específico de la cerámica que es la que lo acumula, expresado en kJ/kgK , por la variación de la temperatura del absorbente con respecto al tiempo.

$$[Q \text{ utilizable}] = Q_u(W) = \alpha_0 + \alpha_1 G + \alpha_2 (T_{e,pr} - T_w) \quad (4)$$

Esta expresión representa el incremento de la energía calorífica utilizable de la recolectada por el CSIMC *versus* la radiación solar diaria. α_1 es una característica propia del material utilizado y representa la capacidad de la cerámica para captar y convertir la radiación solar. Por otro lado, α_2 tiene que ver con las pérdidas de calor del sistema durante el día $T_{e,pr}$ (es la temperatura promedio del medio ambiente y T_w es la temperatura del agua en un instante determinado), y α_0 considera efectos del umbral.

$$[Q \text{ perdida}] = Q_p(W) = U_c A_c (T_{A,pr} - T_e) \quad [Q \text{ perdida}] = Q_p(W) = U_c A_c (T_{A,pr} - T_e) \quad (5)$$

El término U_c es el coeficiente de pérdida de calor, que se puede hallar teóricamente con la ecuación (6) o gráficamente cuando se halla la eficiencia instantánea y dentro de este coeficiente ya están incluidas las pérdidas térmicas por la cubierta superior, los laterales y la parte inferior del colector solar.

El coeficiente U_c es calculado teóricamente por:

$$U_c = \frac{M_c C_{pc}}{A_c \Delta t} \ln \frac{T_i - T_{e,pr}}{T_f - T_{A,pr}} \quad (6)$$

La eficiencia, basada en la primera ley de la termodinámica, para un sistema como el que se está analizando, que es estacionario es definida como el cociente entre la energía acumulada y la radiación solar incidente en el área del colector.

$$\eta_1 = \frac{Q_s}{GA_c} \quad (7)$$

Eficiencia instantánea

Usando el método propuesto por la norma técnica colombiana 4368 de eficiencia energética para sistemas de calentamiento de agua con energía solar y componentes, la eficiencia instantánea (estado cuasi estable) en un colector solar, se define como la relación entre la potencia útil promedio extraída del colector y el flujo incidente promedio de la radiación solar en la apertura bajo condiciones específicas en estado cuasi estable, durante un período de tiempo especificado (5 a 10 min). Como las condiciones de radiación de los experimentos fueron cuasi estables se aplicó la eficiencia instantánea durante 4 horas.

El estado cuasi estable describe el estado de las pruebas del colector solar, cuando la tasa de flujo y la temperatura del fluido de transferencia de calor que entran al colector son substancialmente constantes y las variaciones en la temperatura de salida del fluido de transferencia de calor son debidas solamente a pequeñas variaciones del flujo incidente de la radiación solar, en la apertura del colector.

El factor de conversión η_0 o coeficiente tau (τ), alfa (α) efectivo de un colector es la eficiencia instantánea del colector cuando la temperatura media del fluido es igual a la temperatura del aire ambiente bajo condiciones específicas en estado cuasi estable (Icontec, 1997).

La definición de la eficiencia instantánea η_0 es:

$$\dot{q}_0 = Q_u / G \cdot A_c = m \cdot c_p \cdot (T_m - T_e) / G \cdot A_c = \text{energía útil} / \text{energía incidente} \quad (8)$$

Los parámetros, masa (m), calor específico (C_p) del colector se deben conocer, mientras que la temperatura promedio del intervalo ΔT (T_m), la temperatura ambiente (T_e), el área del colector (A_c) y la radiación

sola (G) se deben medir experimentalmente. La energía útil (Q_u) también se puede definir como la diferencia entre la energía absorbida (Q_a) y las pérdidas del colector (Q_p).

Si toda la radiación solar absorbida y convertida en calor es transferida al líquido (factor de transferencia de calor $FR = 1$), se tiene que:

$$Q_u = Q_a - Q_p = \tau \cdot \alpha \cdot G \cdot A_c - U_p \cdot A_c \cdot (T_m - T_e) \quad (9)$$

Al dividir por ($G \cdot A_c$), obtenemos la ecuación:

$$\eta_0 = \tau \cdot \alpha = (T_m - T_e) / G \quad (10)$$

Que se conoce como la ecuación característica de la eficiencia instantánea del colector de placa plana y se puede graficar en forma de una recta en un gráfico $\eta_0 = (T_m - T_e) / G$.

En la interpretación matemática de esta recta, $\tau \cdot \alpha$ es la intersección con la ordenada η_0 y F_R mientras que U_L es la pendiente de la curva:

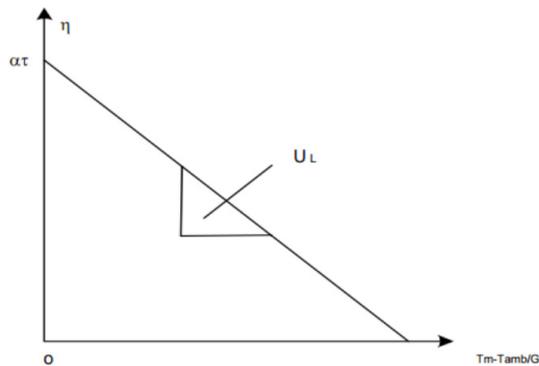


Figura 2. Curva característica de la eficiencia instantánea de un colector solar de placa plana en función a las condiciones operativas T_m , T_e y G .

Análisis exergético

La segunda ley involucra la reversibilidad o irreversibilidad de los procesos, esta ley afirma que además de

cantidad, los procesos termodinámicos también tienen calidad, es decir, la cantidad de energía que se puede extraer como trabajo útil, también llamada exergía o energía disponible. Los datos exergéticos son más completos y adaptados a la realidad ya que establecen los límites teóricos de operaciones ideales.

Los análisis convencionales de energía basados únicamente en la primera ley de la termodinámica ignoran completamente la calidad de la energía y no toman en cuenta las temperaturas en las que el calor sensible es almacenado. Para almacenar energía a las temperaturas más altas posibles y con el mínimo de pérdidas de calor es necesario hacer un análisis basado en la primera y segunda ley de la termodinámica, por eso se realizó también este análisis para tener un diagnóstico claro del comportamiento de los dos sistemas de captación solar y la degradación de la calidad de la energía durante el proceso.

En forma general el balance de exergía se expresa como:

$$\sum \dot{Ex}_e = \sum \dot{Ex}_{\text{aim}} + \sum \dot{Ex}_{\text{salida}} + \sum \dot{Ex}_{\text{perdida}} + \sum \dot{Ex}_{\text{destruida}} \quad (11)$$

Por el tipo de sistema utilizado en el presente proyecto se considera que por no presentarse flujo durante la determinación experimental la exergía de salida es cero.

El total de la velocidad de exergía que entra REx_e incluye:

La velocidad de exergía entrante en el flujo de agua según está dada como (Hazami *et al*, 2010):

$$\sum \dot{Ex}_e(\text{agua}) = mC_p(T_e - T_e - T_e \ln \frac{T_e}{T_A}) + \frac{m\Delta P_e}{\rho} \quad (12)$$

Que en el caso del presente proyecto es cero ya que no hay flujo de entrada ni de salida porque el sistema es cerrado.

La velocidad de exergía en la radiación solar absorbida considerando el rendimiento óptico asumiendo al sol como un recurso térmico infinito según Hazami y colaboradores, es dada por:

$$\sum \dot{Ex}_e(\text{absorbida}) = \eta_0 GA_c (1 - \frac{T_e}{T_s}) \quad (13)$$

Donde T_s representa la temperatura aparente del sol y es el 75 % de la temperatura del cuerpo negro del sol (Hazami *et al*, 2010).

La velocidad de exergía almacenada está dada por la exergía almacenada en la cerámica y el agua ya que el sistema no tiene flujo de entrada/salida, por lo tanto, el agua también cumple la función de almacenamiento:

$$\sum \dot{Ex}_s = M_{\text{arcilla}} C_{p,\text{arcilla}} (T_{A,t_2} - T_{A,t_1}) (1 - \frac{T_{\text{entorno}}}{T_A}) \quad (14)$$

$$\sum \dot{Ex}_s = M_{\text{agua}} C_{p,\text{agua}} (T_{w,t_2} - T_{w,t_1}) (1 - \frac{T_{\text{entorno}}}{T_w}) \quad (15)$$

La velocidad de exergía de salida en el flujo de agua que es igual a cero debido a la ausencia de flujo de salida:

$$\sum \dot{Ex}_0 = mC_p(T_0 - T_a - T_a \ln \frac{T_0}{T_e}) + \frac{m\Delta P_0}{\rho} \quad (16)$$

La velocidad de exergía perdida por el calor desde el captador hacia el ambiente se tiene como:

$$\sum \dot{Ex}_L = U_L A_C (T_A - T_e) \left(1 - \frac{T_e}{T_A}\right) \quad (17)$$

Por otro lado, la velocidad de destrucción de energía incluye dos términos:

El primero es causado por la diferencia de temperatura entre la cerámica y el sol.

$$\sum \dot{Ex}_D (\Delta T_{AS}) = -\eta_0 G A_c T_e \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_S}\right) \quad (18)$$

Y el segundo es causado por la diferencia de temperatura entre la superficie de la cerámica y el fluido (agua):

$$\sum \dot{Ex}_D (\Delta T_{AW}) = -mC_p T_e \left(\ln \frac{T_0}{T_{in}} - \frac{T_0 - T_{in}}{T_A}\right) \quad (19)$$

La eficiencia exergética del colector solar define el incremento de la exergía del fluido sobre la exergía de la primera radiación por la fuente de radiación. Considerando la definición de eficiencia exergética, la ecuación de la segunda ley de la eficiencia del CSPP (está dada por:

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\sum \dot{Ex}_D}{\sum \dot{Ex}_e \text{ (absorbida)}} \quad (20)$$

EXPERIMENTACIÓN Y REGISTRO DE DATOS

Se toma como base para la construcción de los prototipos, el tamaño comercial de la cerámica de pasta blanca. Ya que la radiación puede ser expresada en W/m^2 , los resultados obtenidos podrán ser extrapolados a diferentes dimensiones de colectores. En el mercado se encuentran cerámicos de pasta roja y porcelanatos de pasta blanca de 15 cm x 15 cm a 60 cm x 60 cm y con base en el mayor tamaño de la cerámica comercial, se construyó una caja en acero inoxidable de 2 mm de espesor, con una capa de poliuretano interna de 25 mm a los lados, y una pestaña para la sujeción del vidrio también de 25 mm, lo que ofrece un área efectiva de captación de 557 mm x 557 mm = 0,3102 m^2 , como se describe en la figura 3.

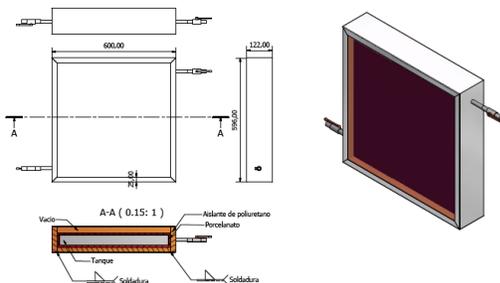


Figura 3. Plano general del calentador, diseño de los autores.

El espesor de cada uno de los materiales utilizados fue, de abajo para arriba, 2 mm de lámina metálica de acero inoxidable, 40 mm de aislante, 40 mm de tanque de almacenamiento, 9 mm de cerámica, 29 mm de espacio vacío y 2 mm de vidrio.

El diseño se basó en disminuir al máximo las pérdidas de energía y maximizar la absorción de la radiación solar, por lo que para los aislantes se tuvo en cuenta la norma NTC 2774 (Icontec, 1990), para los restantes materiales las normas NTC 2461 (Icontec, 2004) y NTC 4368 (Icontec, 1997).



Figura 4. Colectores terminados.

Inicialmente el montaje se llena con agua (12,25 l) y se colocan los colectores simultáneamente en la cámara, paralelos al panel de radiación y distantes de este 50 cm.



Figura 5. Panel con los bombillos que simulan la radiación solar.

Se instalan los termopares en ambos colectores, tomando simultáneamente los datos durante toda la prueba experimental. Se procede a encender el panel de radiación (calibrado a la radiación deseada previamente por el equipo datalogger LI-1400) con todas las

condiciones dadas iniciales (para tres experimentos de 400 W/m², 500 W/m² y 750 W/m²). Se instala el sistema de control y adquisición de temperaturas y se procede el encendido del panel de radiación durante 2 horas; luego de transcurrido ese tiempo, se procede a apagar el panel de radiación, dejando enfriar al natural, tomando datos continuamente hasta completar 2 a 3 horas más.

Este mismo procedimiento se hace para cada experimento comenzando desde las condiciones iniciales.

MATERIALES

Cubierta: se utilizó vidrio común de 2 mm de espesor.

Placa de absorción: para el presente estudio se escogieron dos tipos de materiales cerámicos denominados gres rojo (3626 psi) y gres porcelánico (5222 psi), productos fabricados por Colcerámica S. A. Corona, que son ampliamente utilizados en el sector de la construcción como acabados en pisos interiores o exteriores para fachadas de edificios.

Las condiciones de producción se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Condiciones de producción de las dos matrices cerámicas.

Material	Presión de prensado	Espesor	T° cocción	Peso	Porosidad
	psi	m	°C	kg/m ²	%
Gres rojo	3626	0,078	1160	17	8
Gres porcelánico	5222	0,095	1120	20,5	0,5

Para efectos de analizar el comportamiento térmico obtenido en los experimentos se han determinado mediante la técnica de fluorescencia de rayos X, las proporciones de los principales óxidos. Estudios realizados por laboratorios especializados en materiales se encuentran relacionados en las tablas 2 y 3.

Es de esperar desde el punto de vista de la transferencia de calor, que el material con mayor contenido de óxidos de hierro sea más conductor, de otro lado una menor porosidad indica que el material debe ser más denso y por lo tanto un comportamiento de un sólido verdadero, desde el punto de vista energético la mayor porosidad debe reflejar mayor eficiencia en la conducción del calor, de esta manera el gres porce-

lánico tiene una mayor conductividad térmica comparada con el gres rojo.

La mayor densidad del material gres porcelánico se obtiene en el proceso de prensado, como lo observado en la tabla de propiedades de producción, la presión de prensado es de 5222 psi mientras que en gres rojo es de 3636 psi.

Aislante térmico: el poliuretano es un material fácil de conseguir, se encuentra comercialmente como spray expandible, como químicos básicos para ser mezclados o en láminas preformadas. Para este proyecto se escogió el poliuretano, por su baja conductividad térmica y su facilidad de aplicación en los espacios laterales y el espacio posterior de la caja.

Tabla 2. Proporción de óxidos en la cerámica de pasta blanca fabricada a 5222 psi.

Composición química cerámica blanca			
Referencia	2060/06	Fecha de recepción	27/07/2006
Identificación de material	Muestra 148-06 UFSCAR		
Determinaciones	%		
Humedad	0,7		
P.F.:	5,14		
SiO ₂	69,19		
Al ₂ O ₃	15,59		
Fe ₂ O ₃	5,91		
TiO ₂	0,86		
CaO	0,33		
MgO	0,86		
K ₂ O	1,59		
Na ₂ O	0,19		
P ₂ O ₅	0,15		
BaO	0,07		

Tabla 3. Proporción de óxidos en el gres rojo fabricado a 3626 psi.

Composición química gres rojo	%
SiO ₂	71,6
Al ₂ O ₃	18,4
Fe ₂ O ₃	0,53
TiO ₂	0,87
CaO	1,71
MgO	0,85
Na ₂ O	1,97
K ₂ O	3,33
P ₂ O ₅	0,03
SO ₃	0,07
MnO	0,007
PPI de 110°C a 1000°C	0,3

Caja, uniones y selladores: para la construcción de la caja se utilizó lamina de acero inoxidable 304 calibre 18, y válvula de ½ pulgada para la entrada y salida del agua al prototipo.

Tanque de almacenamiento: fue construido también en lámina de acero inoxidable 304 calibre 18 con uniones de soldadura.

Todas las mediciones de los dos tipos de cerámicas realizadas diariamente parten desde la temperatura ambiente de la cámara de prueba (17 °C) y con una temperatura de agua interna de 16 °C en el colector cerámico.

El tiempo total de la práctica está en 5 horas, solo variando entre experimento diario la radiación emitida por el equipo panel lumínico del laboratorio de Plantas Térmicas y Energías renovables de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

El panel de radiación se enciende durante 2 horas iniciales y luego se apaga. Se siguen tomando las me-

diciones hasta que se alcanzan las condiciones iniciales o hasta que haya transcurrido más del tiempo de prendido del panel (3 horas).

RESULTADOS

Eficiencia energética

Específicamente en el estudio que se está realizando, los datos registrados como calor acumulado (Q_s) fueron analizados desde el punto en el que la temperatura del agua supera la temperatura del ambiente, y los datos de radiación solar absorbida (Q_A), o calor absorbido si se registran desde el tiempo cero, hasta que se apaga la fuente de radiación (figura 6).

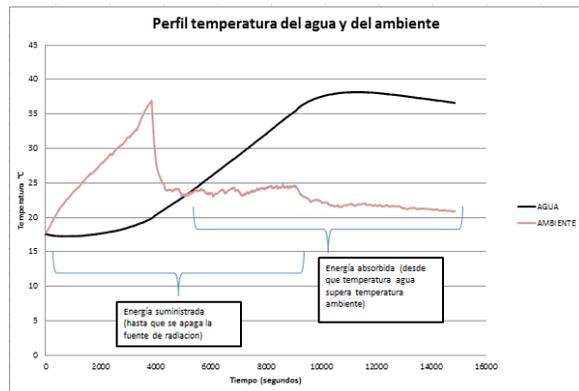


Figura 6. Perfil de temperaturas del agua y del ambiente.

Las eficiencias energéticas obtenidas se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Eficiencias energéticas.

RESUMEN EFICIENCIAS ENERGÉTICAS		
	W	%
Blanca	400	59
	500	34
	750	13
Roja	400	41
	500	26
	750	15

Analizando las eficiencias obtenidas, y teniendo en cuenta que al tener dos prototipos, en los que la única diferencia es el material del elemento captador y que la toma de los datos se realizó simultáneamente,

se resaltan los resultados de la cerámica pasta blanca fabricada a 5222 psi.

Eficiencia instantánea

Según lo estipulado por la norma técnica colombiana de eficiencia energética: sistemas de calentamiento de agua con energía solar y componentes NTC 4368, se tomaron los datos de los experimentos únicamente en el lapso de 5,58 minutos en intervalos de 55 segundos.

Se hallaron las eficiencias instantáneas en cada uno de esos momentos especificados, mediante la aplicación de la ecuación (10) en la que se determina la relación $\tau \cdot \alpha$. A continuación se grafica la eficiencia Vs $\tau \cdot \alpha$ (figura 7).

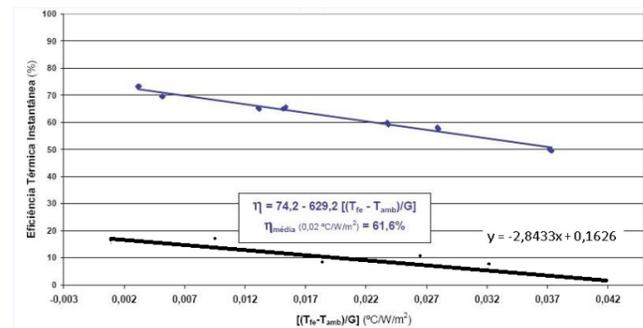


Figura 7. Eficiencia instantánea del colector solar de placa plana comparado con el colector solar de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais, de la compañía multinacional TRANSSSEN.

Con base en la figura 7 se deduce la siguiente ecuación de la recta:

$$y = -2.8433x + 0.1626 \quad (20)$$

Así, al comparar término a término, se identifican los siguientes valores:

$$\eta_0 = \tau\alpha = 0.1626 \quad (21)$$

Que es el punto de corte de la curva y representa la eficiencia instantánea, por lo tanto la eficiencia instantánea del equipo del experimento “cerámica blanca a 400 w” es 16,26 % y más adelante será considerada como la eficiencia óptica; y el término

$$F_R U_L = -2.8433 \quad (22)$$

Donde U_L es el coeficiente global de pérdidas de calor y será determinante para ser utilizado posteriormente en el análisis exergético.

El mismo procedimiento fue aplicado a los 5 experimentos y se encontraron las eficiencias instantáneas

de cada uno. Las cuales son relacionadas en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de las eficiencias instantáneas y los coeficientes globales de pérdidas.

	Eficiencias instantáneas η_0				Coeficiente global de pérdidas de calor $F_R U_L$			
	400 W/m ²	500 W/m ²	750 W/m ²	TRANSEN	400 W/m ²	500 W/m ²	750 W/m ²	TRANSEN
CERÁ MICA								
Blanca %	16,2	NA	1,1	61,6	-2,8	NA	-10,7	-6,2
Roja %	14	1,5	1		-4,1	-0,2	-0,01	

Se puede observar que los coeficientes globales de pérdidas de calor son negativos ya que corresponden a la pendiente de la recta de la gráfica de regresión lineal donde se encontró la eficiencia instantánea. Con el propósito de hacer el comparativo energético de los resultados de las eficiencias térmicas instantáneas (tabla 5) se utilizó como base la eficiencia instantánea de un colector analizado en la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais, de la compañía multinacional TRANSEN.

Eficiencia exergética

Se utilizaron las ecuaciones desde la (11) a la (20) y se pudo determinar la exergía absorbida por el captador, por el material cerámico, almacenada por el agua, la que se perdió hacia el ambiente, y la exergía destruida, como insumos para llegar a obtener la eficiencia exergética de cada uno de los procesos. La tabla 6 resume las eficiencias de cada una de los ensayos.

Tabla 6. Resultado de las eficiencias exergéticas.

RESUMEN EFICIENCIAS EXERGÉTICAS		
	W	%
Blanca	400	18,03
	500	*
	750	12,04
Roja	400	21,32
	500	1,5
	750	1,23

* Debido a un corte en el fluido eléctrico que generó errores en la toma de datos de la eficiencia en la cerámica blanca a 500 W, esta no fue tenida en cuenta.

CONCLUSIONES

Los prototipos diseñados y construidos para este proyecto, cumplen con la función de calentar agua, a temperaturas suficientes para uso agroindustrial, sin necesidad de tanque de almacenamiento, como lo demuestra el incremento de la temperatura del agua que se evidencia en la figura 6 donde se constata el incremento de la temperatura del fluido después de que ha finalizado el proceso de radiación. Los resultados permiten aseverar que los valores de la eficiencia instantánea son menores que los reportados para el colector solar de placa plana comercial con el que se comparó el prototipo diseñado y construido. La eficiencia del proceso para las dos matrices disminuye al incrementarse el nivel de radiación. La cerámica blanca compactada en su fabricación a 5222 psi exhibe, en términos generales, una mayor eficiencia global que la roja compactada a 3626 psi. La eficiencia global más alta es la del sistema de cerámica blanca, que fue fabricada a una mayor presión (3636 psi), sobre todo bajo condiciones de radiación solar de 400 W. Según el análisis exergético, la exergía destruida es de un 53 % del de la exergía absorbida, lo que indica que los materiales de construcción (aislante y vidrio) de los prototipos deben ser mejorados. Los resultados de la eficiencia exergética muestran, en todos los casos, valores menores de los obtenidos para la eficiencia energética, indicando que el aprovechamiento real de la energía útil es bajo.

La exergía que se destruye entre el material cerámico y el agua, es superior a la exergía almacenada en el agua, este resultado muestra que existen inconvenientes en el diseño del contacto entre el material cerámico y el contenedor del agua.

RECOMENDACIONES

Una profundización mayor en el estudio de sistemas integrados como el CSIMC en Colombia ofrece posibilidades económicas de aprovechar la energía del sol en empresas agroindustriales. Se recomienda hacer un análisis energético con flujo de agua en el colector, así como realizar el mismo ensayo bajo las condiciones ambientales exteriores donde otras variables como el viento y la radiación de albedo podrían influir. Finalmente, se recomienda conducir ensayos de presión a los prototipos construidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al doctor en Ingeniería Fabio Emiro Sierra, profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia, director del grupo de investigación Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética GRIN, al profesor Gerardo Ardila Duarte quien validó estadísticamente los datos tomados para determinar la confiabilidad de los mismos, y a la Universidad Libre de Colombia por su apoyo financiero.

REFERENCIAS

- Bougiatioti, F., & Michael, A. (2015). The architectural integration of active solar systems. Building applications in the Eastern Mediterranean region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 966-982..
- Icontec. (1990). Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar y Componentes. Santafé de Bogotá D. C.: Icontec - NTC 2774.
- Icontec. (1997). Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar y Componentes. Santafé de Bogotá D. C.: Icontec - NTC 4368.
- Icontec. (2004). Colectores solares de placa plana para calentamiento de agua de consumo doméstico. Santafé de Bogotá D. C.: Icontec - NTC 2461.
- Hazami, M., Kooli, S., Lazâar, M., Farhat, A., & Belghith, A. (2010). Energetic and exergetic performances of an economical and available integrated solar storage collector based on concrete matrix. *Energy Conversion and Management*, 51(6), 1210-1218.
- Pinel, P., Cruickshank, C. A., Beausoleil-Morrison, I., & Wills, A. (2011). A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3341-3359.
- UPME, I. (2005). Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá D. C.: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía.
- Sun, X. Y., Sun, X. D., Li, X. G., Wang, Z. Q., He, J., & Wang, B. S. (2014). Performance and building integration of all-ceramic solar collectors. *Energy and Buildings*, 75, 176-180.
- Zhang, X., Shen, J., Lu, Y., He, W., Xu, P., Zhao, X., ... & Dong, X. (2015). Active Solar Thermal Facades (ASTFs): From concept, application to research questions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 32-63.

MUTIS

REVISTA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO

Instrucciones para autores

ENVÍOS DE ARTÍCULOS

La revista *Mutis* acepta permanentemente los siguientes tipos de artículos:

1. Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación.
2. Artículo de métodos: documento que presenta la invención o estandarización de un método experimental, computacional, o educativo, entre otros.
3. Artículo de revisión (estado del arte): es una revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias, con el fin de dar cuenta sobre los avances y las tendencias de desarrollo de un campo particular de las ciencias naturales e ingeniería.
4. Comunicación corta: documento que presenta resultados parciales de una investigación en desarrollo cuya publicación sea de gran importancia.

Los trabajos que se presentan a consideración de la revista *Mutis*, se deben enviar vía correo electrónico a alisy.pataquivam@utadeo.edu.co con copia a javier.hernandez@utadeo.edu.co (Asunto: Artículo revista *Mutis*) en formato de procesador de texto habilitado para modificaciones (Microsoft Word). El artículo debe estar escrito en español o inglés, con una extensión máxima de 25 páginas (incluyendo tablas, figuras y referencias), con márgenes simétricas de 2 cm, sin columnas, con títulos y subtítulos alineados a la izquierda, en letra Times New Roman, tamaño 12 y en espacio doble. Para facilitar el proceso de evaluación, se deben numerar todos los renglones del trabajo. Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

Tipo de artículo. El tipo de artículo (*Short communication, Research article o Review article*) debe ser colocado en mayúscula, negrilla y alineado a la derecha en la parte superior.

Título. El título debe representar con precisión y de manera concisa el contenido del trabajo sin exceder 15 palabras. Se debe escribir con letras tamaño de fuente 16, en minúsculas, en negrilla y alineado a la izquierda.

Título corto. Debe sugerirse un título corto de no más de 5 palabras que resuma el título original, el cual se colocará en las páginas impares del texto publicado.

Autores. Debe escribirse nombre completo de los autores, separados por comas y tamaño de fuente 12. El autor para correspondencia debe marcarse con un asterisco como superíndice al final del apellido. Cada afiliación debe estar precedido por el número que se insertó como superíndice al final del apellido de cada autor. No se deben incluir títulos académicos ni las posiciones o cargos que los autores ocupan. Las afiliaciones se deben escribir en este orden: Universidad, facultad, programa, laboratorio o grupo (si aplica), dirección, ciudad, país, *correo electrónico del autor para correspondencia. Ejemplo:

Yvonne Sarmiento Rangel,¹ Ariadna Hazel Vergel^{2*}

¹Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Naturales y Ambientales. Grupo de Investigación Genética, Biología Molecular y Bioinformática – GENBIMOL, Carrera 4 N° 22-61, Bogotá D. C., Colombia. CP 011110

²Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Apartado 6, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba. CP 53000. Correo electrónico: arhazel@inivit.cu

Resumen. Debe tener un máximo de 250 palabras. El texto del resumen debe ir en tamaño de fuente 12 Times New Roman. El resumen debe incluir objetivo, métodos, resultados concretos de la investigación y una conclusión general.

Palabras clave. Deben escogerse un máximo de 5 palabras claves. Palabras diferentes incluidas en el título.

Abstract. Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del resumen que aparece en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para el resumen en español.

Keywords. Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de las palabras clave que aparecen en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para las palabras clave en español.

Introducción. Donde se habla sobre el origen de la investigación, interés y visión general del tema a tratar.

Materiales y métodos. No aplica para artículo de revisión. Descripción detallada de técnicas, equipos y reactivos utilizados en el desarrollo de la investigación.

Resultados. No aplica para artículo de revisión. Donde se hace una presentación clara de los resultados de investigación.

Discusión. Donde se realiza la interpretación y análisis de los resultados de investigación comparándolo con resultados previamente publicados. Pueden presentarse tablas o figuras para sintetizar los resultados. Si se han realizado análisis estadísticos se deberá describir la procedencia de los datos y el método estadístico empleado.

Conclusiones. Deben basarse en los resultados obtenidos y estar relacionados con la hipótesis o planteamiento del problema descrito en la introducción.

Agradecimientos. Los autores agradecerán de manera corta y concisa a instituciones o personas que hayan aportado de manera relevante a la investigación. Es de carácter opcional.

Ecuaciones. Las ecuaciones se deben escribir centradas con respecto al texto principal y se deben numerar continuamente a lo largo del texto. Cada ecuación debe estar enumerada con un número entre paréntesis ubicado en el margen derecho del texto. El significado

y las unidades deben explicarse inmediatamente después de la ecuación en que se utilicen por primera vez.

Cantidades y unidades. Para todas las cantidades numéricas, se debe utilizar una coma para separar los miles y un punto para indicar las cifras decimales. Se recomienda utilizar el Sistema Internacional de Unidades.

Tablas. Las tablas se deben numerar continuamente a lo largo del texto. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra **Tabla** (en negrilla) seguida del número arábigo consecutivo correspondiente, y de una breve descripción del contenido de la tabla. Tanto el encabezado como el contenido de la tabla se deben escribir en tamaño de fuente 10. Solo deben usarse líneas horizontales para separar las entradas de la tabla. No deben usarse líneas verticales para separar las columnas. En el caso de necesitarse algún pie de tabla, este debe estar escrito con tamaño de fuente 8. Las tablas no deben duplicar la información dada en las figuras.

Figuras. Las figuras (o fotografías) se deben numerar de manera consecutiva a lo largo del texto. El rótulo de cada figura debe estar en parte inferior de la figura y debe incluir la palabra **Figura** (en negrilla) seguida del número arábigo correspondiente, y de una breve descripción del contenido de la figura. El rótulo de la figura se debe escribir en tamaño de fuente 10. Las figuras deben incluirse como imágenes originales importadas o copiadas al archivo del trabajo desde una herramienta gráfica (por ejemplo, de *Microsoft Excel*) con una resolución de 300 dpi de tal manera que la legibilidad no se sacrifique cuando el tamaño de las figuras se ajuste durante el proceso de edición. No se publicará por ningún motivo información de fotografías descargadas por internet sin el permiso expreso del autor.

Referencias bibliográficas. Se debe utilizar a lo largo del texto el sistema de citación APA que utiliza los apellidos de autores seguidos del año de publicación entre paréntesis. La lista de las referencias se debe dar al final del documento después de la sección de Conclusiones y debe estar organizada en orden alfabético de acuerdo a la inicial del primer apellido del primer autor. En esta lista solamente se deben colocar las referencias citadas en el texto. Todas las referencias se deben escribir en tamaño de fuente 12 Times New Roman.

EJEMPLOS:

ARTÍCULO

Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., & Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of food Engineering*, 58(1), 33-43.

LIBRO

Shames, I. H., & Shames, I. H. (1982). *Mechanics of fluids* (pp. 8-36). New York: McGraw-Hill.

CAPÍTULO DE LIBRO

Bertucco, A. &. (2002). Micronization of a polysaccharide by a supercritical antisolvent technique. En J. &. Williams (Ed.), *Supercritical Fluids Methods and Protocols*. (págs. 335-412). New Jersey: Humana Press, Inc.

DOCUMENTO DE INTERNET

Benson, T. (Nov. 17, 2005). *Forces on a Rocket*. Consultado en octubre 2, 2008, desde <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/rktfor.html>

TESIS DE GRADO

Yépez, B. (2009). Glicerólisis e hidrólisis de triglicéridos saturados, en dióxido de carbono supercrítico. Tesis Doctoral, Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

En caso de dudas comunicarse con los editores (alisy.pataquivam@utadeo.edu.co, javier.hernandez@utadeo.edu.co.). Estas instrucciones quedan supeditadas a los cambios que el Comité Editorial disponga.

MUTIS

Comité Evaluador

La revista *Mutis* agradece a los profesores e investigadores que colaboraron en el presente número como árbitros de los artículos aprobados y publicados.

ELIASIB RIVERA AYA

Universidad Jorge Tadeo Lozano

AÍDA LUZ VILLA HOLGUÍN

Universidad de Antioquia

ERIKA ARENAS CASTIBLANCO

Universidad Pontificia Bolivariana

MANUEL ALEJANDRO MAYORGA BENTANCOURT

Universidad Jorge Tadeo Lozano

FRANCISCO DE PAULA GUTIÉRREZ BONILLA

Universidad Jorge Tadeo Lozano

SILVIO ALEJANDRO LÓPEZ PAZOS

Universidad Antonio Nariño

JULIÁN ANDRÉS ARIZTIZABAL

Universidad Jorge Tadeo Lozano

ADRIANA MIREYA ZAMUDIO

Universidad Jorge Tadeo Lozano

LUIS ALEJANDRO ARIAS

Universidad Jorge Tadeo Lozano