

Publicaciones e Investigación

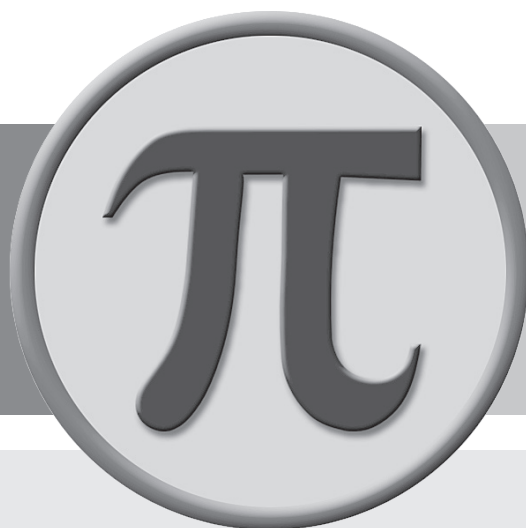
UNAD
Universidad Nacional
Abierta y a Distancia

ISSN 1900-6608
eISSN 2539-4088

Especializada en Tecnología e Ingeniería
Specialized in technology and engineering



Publicaciones e Investigación



**Revista Especializada en
Tecnología e Ingeniería**

Vol. 13 No. 2 - 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD

BOGOTÁ, D.C.

REVISTA PUBLICACIONES E INVESTIGACIÓN

Especializada en Tecnología e Ingeniería

Specialized in technology and engineering

Rector

Jaime Alberto Leal Afanador

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Constanza Abadía García

Vicerrector Medios y Mediaciones Pedagógicas

Leonardo Yunda Perlaza

Vicerrector de Servicios a Aspirantes, Estudiantes y Egresados

Edgar Guillermo Rodríguez Díaz

Vicerrector de Desarrollo Regional y Proyección Social

Leonardo Sánchez Evemeleth

Decano Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Claudio Camilo González Clavijo

Decana Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Julialba Ángel Osorio

Decana Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

Sandra Milena Morales Mantilla

Decana Escuela de Ciencias de la Educación

Clara Esperanza Pedraza Goyeneche

Decana Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios

Sandra Rocío Mondragón Arévalo

Decana Escuela de Ciencias de la Salud

Myriam Leonor Torres P.

Director

Rafael Ricardo Rentería Ramos

Editora

Nelly Morales Pedraza

Comité editorial

Ph.D. Jesús Alfonso Torres Ortega, Unisalle – Bogotá, Colombia

Ph.D. Rodrigo Ortega Toro. Unicartagena, Bogotá, Colombia

Ph.D. Oscar Yesid Suarez – Unal, Bogotá, Colombia

Ph.D. Carlos Mario Zuluaga D. – Unal, Bogotá, Colombia

Ph.D. Sixto Enrique Campaña Bastidas – Unad, Bogotá, Colombia

Ph.D. Jorge Andrés Vivares – Unad, Dosquebradas, Colombia

Ph.D. Martha Cuenca Quicazan – U. Libera Bolzano, Italia

Mg. Gonzalo García – Galaxy Studios N.V. Bélgica

Comité Científico Internacional

Ph.D. Luis Martínez López- U. Jaén, España

Ph.D. Alfonso Jesús Cruz Lendínez - U. Jaén, España

Ph.D. Carlos Narciso Bouza Herrera – U. de la Habana, Cuba

Ph.D. Francisco Maugeri Filho – Unicamp, Brasil

Ph.D. Carlos Alberto Gasparetto – Facens, Brasil

Ph.D. Enrique Ortega Rodríguez – Unicamp, Brasil

Ph.D. Lourdes Zumalacárregui – Cujac, Cuba

Ph.D. Israel Herrera Orozco – CIEMAT, Barcelona, España

Ph.D. José Félix García Rodríguez – U. Juárez Autónoma de Tabasco, Mexico

Ph.D. Sofía Collazo Bigliardi – U. Politécnica de Valencia,

Valencia, España

Diagramación y Diseño de portada

Hernán Vásquez Giraldo

Política Editorial

La Revista especializada en tecnología e ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD; tiene una periodicidad de publicación semestral (enero - junio, julio - diciembre); divulga artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las áreas de la ciencia, tecnología e ingeniería. Los artículos deben ser inéditos y las opiniones expresadas en ellos son responsabilidad de los autores. La reproducción total o parcial sin fines comerciales, se autoriza si se indica claramente la fuente: revista publicaciones e investigación <https://doi.org/10.22490/issn.2539-4088> y debe ser usado en bibliografías, leyendas, notas al pie y referencias.

CONTENIDO



Editorial

7

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento del Cauca

Design and implementation of a monitoring system of water quality parameters in tilapia farming in a fish farm in Cauca department

L. Plazas Pemberthy, N. Paz Ruiz

11

Evaluación y selección de levadura comercial para el proceso de fermentación alcohólica de hidromiel

Evaluation and selection of commercial yeast for the alcohol fermentation process of mead

Johana Herrera, Leinis León, Yusleivis Torres, Natalia Cano, Adriana Herrera, Martha Cuenca

23

Diseño de un cansat para medición de variables ambientales

Design of a cansat for measuring environmental variables

Oscar Alberto Jaramillo, Raúl Camacho Briñez, Juan Camilo Tejada

31

Prueba piloto para la evaluación de Mutag en el tratamiento de aguas residuales provenientes del sector de hidrocarburos

Pilot test for Mutag evaluation in treatment of wastewater from the hydrocarbons sector

Jenifer Giraldo Toro, González Rodríguez Hernando, Francy Méndez Casallas

41

Convertidor dc–ac de alta eficiencia basado en el modulador EG8010 para implementar en sistemas energéticos alternativos High-efficiency dc-ac

Converter based on EG8010 modulator to implement in alternative energy systems.

Jairo Gutiérrez, Luz Flórez, Daniel Serrano

51

Dimensionamiento matemático de obras hidráulicas para una pequeña central hidroeléctrica en Río Negro, Cundinamarca mediante métodos lógicos deductivos por medio de ábacos y gráficas obsoletas

Mathematical dimensioning of hydraulic works for a small hydroelectric power plant in Rio Negro, Cundinamarca through deductive logical methods through obsolete abacus and graphics

Nicolás Girón Cuervo

61

Alternativas ambientales para el aprovechamiento de la biomasa residual de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en procesos industriales y agrícolas

Environmental alternatives for the use of residual biomass of palm oil (*elaeis guineensis*) in industrial and agricultural processes

Andrés Leonardo Vanegas Escudero

77

Big Data el nuevo orden de la información y la comunicación

Big Data and the new order of information and communication

Roberto Mauricio Cárdenas Cárdenas

93

Lineamientos generales

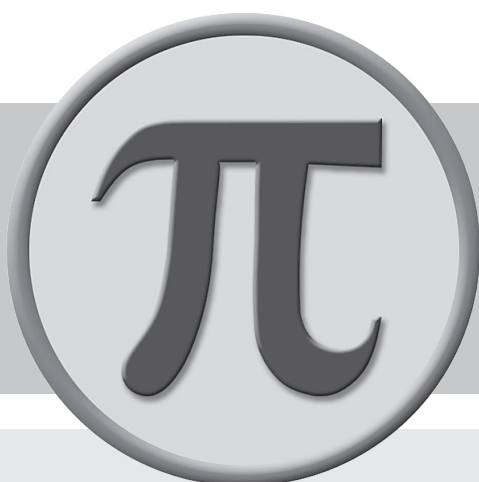
101

Instrucciones para presentar artículos

103

Lista de autores

107



EDITORIAL



El concepto de desarrollo según Amartya Sen (2018, p.5.) “no puede limitarse al crecimiento de objetos inanimados de conveniencia [...] o el progreso tecnológico, o la modernización social. Si bien estos son logros importantes, su valor debe estar relacionado con el efecto que tienen en las vidas y libertades de las personas [...] y la capacidad real para alcanzar logros bajo la influencia de las oportunidades de educación e investigación. Por lo tanto, aprender a existir en el mundo globalizado, requiere de nuestro conocimiento para comprender la cultura tecnológica e integrarla a los procesos de humanización de la globalización, [con lo que] estos progresos técnicos obtenidos bastarían para producir mucho más salud, bienestar, educación, empleos y alimentación reduciendo las dolencias y miserias de la humanidad”. De esta manera podríamos vivir en una ¡otra globalización! que contribuya a desarrollo económico, cultural, capacidad creativa e investigativa de las nuevas generaciones con visiones nuevas del mundo, de la vida, la economía, las empresas, la cultura, la educación e investigación.

Este volumen de la revista sigue la idea anterior, y en él se publican artículos producto de investigación que se relacionan con alguno de los principios de desarrollo tecnológico y ambiental; escritos que se presentan a continuación:

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento del Cauca, realizado por los investigadores L. Plazas Pemberthy y N. Paz Ruiz, quienes diseñaron e implementaron un prototipo electrónico de monitoreo de parámetros de calidad de agua, como temperatura, pH, amoníaco y oxígeno disuelto del agua, con el fin de identificar los valores óptimos que garanticen la reducción de las tasas de mortalidad en los cultivos de peces.

El artículo *Alternativas ambientales para el aprovechamiento de la biomasa residual de palma aceitera* ((*Elaeis guineensis*) en procesos industriales y agrícolas, es una revisión bibliográfica de los efectos ambientales de la inadecuada gestión de los residuos provenientes de la extracción del aceite de palma e identificar las alternativas de aprovechamiento de esta biomasa para la aplicación en procesos agrícolas e industriales, realizado por Andrés Leonardo Vanegas Escudero.

El investigador Nicolás Girón Cuervo, propone una metodología para aplicar el principio de precaución, el cual ha sido un instrumento fundamental en la toma de decisiones que se ha consolidado progresivamente en el derecho ambiental internacional en su artículo titulado: *Dimensionamiento matemático de obras hidráulicas para una pequeña central hidroeléctrica en Río Negro, Cundinamarca mediante métodos lógicos deductivos por medio de ábacos y gráficas obsoletas*.

El artículo *Evaluación y selección de levadura comercial para el proceso de fermentación alcohólica de hidromiel* realizado por los autores Johana Herrera, Leinis León, Yusleivis Torres, Natalia Cano, Adriana Herrera y Martha Cuenca, presenta los resultados de la investigación cuyo objetivo fue evaluar la fermentación alcohólica para la obtención del hidromiel, utilizando diferentes levaduras disponibles comercialmente.

El *Diseño de un cansat para medición de variables ambientales*, resultado de un proyecto realizado por Oscar Alberto Jaramillo, Raúl Camacho Briñez y Juan Camilo Tejada, permite simular las características de un satélite real, integrado en el volumen y la forma de una lata de soda, para lo que los principales subsistemas encontrados en un satélite fueran tenidos en cuenta, como potencia, sensores y un sistema de comunicación.

La *Prueba piloto para la evaluación de Mutag en el tratamiento de aguas residuales provenientes del sector de hidrocarburos*, el objetivo del estudio fue evaluar la viabilidad del uso del Mutag mediante una prueba piloto a escala de laboratorio usando un reactor mezcla completa tipo Batch para el tratamiento de aguas provenientes del sector de hidrocarburos, monitoreando fenoles, grasas y aceites como parámetros de seguimiento, realizado por Jenifer Giraldo Toro, González Rodríguez Hernando, Francy Méndez Casallas.

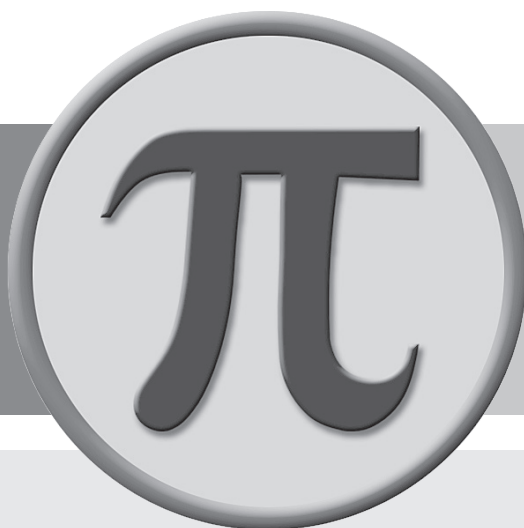
Big Data el nuevo orden de la información y la comunicación, está orientado en dos dimensiones. La primera, en relación a la revisión histórica sobre el manejo de la información y su circulación en lo que se ha llamado la era de la información, la segunda aborda el fenómeno del Big Data como una de las tendencias mundiales en el campo del manejo, tratamiento y sistematización de la información en la red, escrito por Roberto Mauricio Cárdenas Cárdenas.

El artículo *Convertidor DC-AC de alta eficiencia basado en el modulador EG8010 para implementar en sistemas energéticos alternativos*, es el resultado del diseño y la implementación de un convertidor DC-AC de alta eficiencia y bajo costo, empleando una técnica moderna de modulación y transistores de potencia Mosfet de alta velocidad para lograr mínimas pérdidas de potencia eléctrica por conmutación y bajos niveles de distorsión armónica en la onda sinusoidal de salida, realizado por Jairo Gutiérrez, Luz Flórez y Daniel Serrano.

Nelly Morales Pedraza
Editora

Referencias

Sen, A. (2018). ¿Qué impacto puede tener la ética? *Revista Digital Futuros*, 20(6), Recuperado de: http://www.futuros21.info/indice_edicion.asp?id_edicion=5.



**Revista Especializada
en Tecnología
e Ingeniería**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN CULTIVO DE TILAPIA EN UNA GRANJA PISCÍCOLA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MONITORING SYSTEM OF WATER QUALITY PARAMETERS IN TILAPIA FARMING IN A FISH FARM IN CAUCA DEPARTMENT



¹L. Plazas Pemberthy

²N. Paz Ruiz

^{1,2}Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial,
Corporación Universitaria Comfacaucá, Popayán, Cauca, Colombia

Recibido: 27/11/2018 Aprobado 15/02/2019

RESUMEN

El monitoreo de calidad de agua para el cultivo de peces es fundamental para incrementar la productividad y competitividad de los piscicultores. La cadena piscícola caucana se encuentra en un estado de transición entre enfoque de subsistencia hacia enfoque de cadena productiva (Ruano, Silva & Rivera, 2015) y por lo tanto requiere de la introducción con desarrollos tecnológicos que le ayuden a reducir los factores de vulnerabilidad. Partiendo de este enfoque, se diseñó e implementó un prototipo electrónico de monitoreo de parámetros de calidad de agua, como temperatura, pH, amoníaco y oxígeno disuelto del agua, con el fin de identificar los valores óptimos que garanticen la reducción de las tasas de mortalidad en los cultivos de peces. Las pruebas de campo se realizaron en la granja piscícola “Mamá Lombriz”, ubicada en el municipio de Popayán, en el departamento del Cauca (Colombia). El hardware del prototipo se compone de una sección de acondicionamiento electrónico y un microcontrolador, en el que se realiza el proceso de muestreo, acondicionamiento, adquisición y procesamiento de datos para su despliegue y almacenamiento en computador. La información es enviada por conexión USB a un software con interfaz gráfica para que el usuario visualice las variables y pueda tomar acciones correctivas de acuerdo a cada situación. Con este prototipo se espera contribuir al mejoramiento de las actividades productivas de la cadena piscícola incrementando la competitividad (Joaquí-Daza, 2011) de los agentes productores y reduciendo los porcentajes de mortalidad en los peces cultivados.

Palabras clave: acuicultura, calidad del agua, arreglo de sensores, desarrollo tecnológico, monitoreo, piscicultura.

¹ lplazas@unicomfacaucá.edu.co, orcid.org/0000-0001-7301-9683

² npaz@unicomfacaucá.edu.co, orcid.org/0000-0003-4010-4341

ABSTRACT

Water quality monitoring and management for fish farming is essential to increase the productivity and competitiveness of fish farmers. The Cauca fish chain is in a state of transition between the subsistence approach towards the “productive chain” approach (Ruano, Silva and Rivera, 2015), therefore it requires introduction with technological developments that help reducing vulnerability factors. Based on this approach, an electronic prototype was designed and implemented to monitor water quality parameters, such as temperature, pH, ammonia and dissolved oxygen in water, in order to identify the optimal values that guarantee the reduction of mortality rates in fish cultures. The field tests were performed in the fish farm “Mama Lombriz” located in Popayán, Cauca (Colombia). The hardware of the prototype is based on the free hardware platform, in which the process of acquisition and processing of data is performed for its deployment and storage in a computer. The information is sent by USB connection to software with graphical interface so that the user visualizes the variables and can take corrective actions according to each situation. With this prototype it is expected to contribute to the improvement of the productive activities of the fish chain, increasing the competitiveness of the producers and reducing the mortality percentages in the farmed fish.

Keywords: *aquaculture, fish farming, monitoring, sensor array, technological development, water quality.*



1. INTRODUCCIÓN

Los objetivos de desarrollo sostenible para el nuevo milenio dan alta prioridad a la erradicación de la pobreza extrema y el hambre (Carlino et al., 2017), así mismo en Colombia se está trabajando por la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y la agricultura sostenible (Chavarro et al., 2017).

La acuicultura, encargada de la cría de organismos acuáticos, es un sector productivo con alto crecimiento que está desempeñando un papel importante en la disminución de estos problemas (Brown 2000) En ese marco, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca han propuesto políticas para mejorar y promover la productividad y competitividad pesquera y acuícola (Esquivel et al., 2014).

En el departamento del Cauca, Colombia, se han creado diferentes proyectos de investigación para brindar elementos diferenciadores a la cadena piscícola, buscando mejorar sus actividades productivas, así como las distribuciones de ingresos y la competitividad en los eslabones de la cadena mediante la agregación de valor (Ruano, Silva and Rivera, 2015) En este

sentido, ha surgido un importante número de granjas piscícolas dedicadas a la producción de peces como trucha y tilapia, que constituyen una alternativa económica y turística a la vez (Parrado Sanabria, 2012). Una de las variedades cuyo cultivo está en auge es la tilapia roja - *Oreochromis sp*, gracias a su tolerancia a los cambios de temperatura y adaptabilidad a diversas condiciones (Bonilla et al., 2018; Esquivel et al., 2014).

No obstante, entre los problemas más comunes para los piscicultores están el elevado gasto hídrico de la producción (Durán Pérez, 2015) y el alto índice de mortalidad; alrededor del 20% de los alevinos no supera la etapa de engorde (SIPSA 2014). Las causas de estos problemas están relacionadas principalmente con la carencia de herramientas tecnológicas en la piscicultura, que permitan a los piscicultores tomar decisiones acertadas, con velocidades de respuesta mayores y el deficiente relacionamiento entre el conocimiento científico y las comunidades, donde por falta de mecanismos para hacer el conocimiento comprensible, los productores piscícolas optan por continuar utilizando los conocimientos ancestrales y tradicionales, que han dado resultados durante generaciones pero que no significan un proceso óptimo y eficiente (Marroquín 2018).

En la presente investigación se desarrolló un prototipo comprendido por hardware y software para monitorear parámetros de calidad de agua en los estanques de cultivo de tilapia y presentarlos de una manera sencilla y eficiente a los piscicultores, con el fin de brindarles herramientas confiables y de bajo costo que den soporte a las acciones correctivas cuando alguno de los parámetros de calidad de agua se encuentre por fuera del rango óptimo establecido por los productores.

Las pruebas de campo fueron realizadas en la granja piscícola Mamá lombriz, ubicada en la ciudad de Popayán, Cauca, Colombia. El cultivo piloto correspondió a tilapia roja - *Oreochromis sp* en estanques de 1.800 hasta 3.000 alevinos en etapa de engorde.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó un dispositivo electrónico para monitorear temperatura, pH, amoníaco y oxígeno disuelto en el agua para los estanques de tierra ubicados en la granja piscícola “Mamá Lombriz” ubicada en 2°30'55.8"N 76°34'08.7"O, con una altitud de 1.740 msnm, en el municipio de Popayán en el departamento del Cauca, como se muestra en la Figura 1. De acuerdo al registro climático, la zona tiene oscilaciones en el rango de 13°C a 27°C dependiendo de la temporada, los fenómenos climáticos y la hora del día; se reporta una temperatura promedio de 18°C (Correa-Muñoz & Higido-Castro, 2017).



Fig. 1. Ubicación granja piscícola Mamá Lombriz

Los principales parámetros de monitoreo se definieron en colaboración con la comunidad piscicultora, quienes identificaron algunas de las características importantes en el agua para garantizar un ambiente de crecimiento propicio y baja mortalidad para los alevinos. Del trabajo con la comunidad se extrajeron siete parámetros que son: temperatura, oxígeno disuelto en agua, porcentaje de saturación de oxígeno, pH, nitritos, nitratos y amoníaco, que se correlacionaron con la tasa de mortalidad del día actual, del día anterior y la cantidad de peces en cada estanque.

De la información consultada en la literatura se obtuvo los valores ideales para los parámetros mencionados (SIPSA 2014; Bonilla et al., 2018), que se analizaron y realimentaron con los piscicultores de la zona con el fin de ajustarlos a las condiciones de la granja piloto. Los valores establecidos se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1

Parámetros de calidad de agua y el rango ideal para cultivo de peces.

Parámetro	Rango ideal
Temperatura	22 a 26 °C
Oxígeno disuelto en agua	³ 4ppm
Saturación	65%
pH	(6.5 a 8.5) Ideal 7.5
Nitrito	£ 1 ppm
Nitrato	£ 4.0 ppm
Amoníaco	£ 0.4 ppm

Fuente: (SIPSA 2014; Bonilla et al., 2018)

Para delimitar los parámetros a monitorear, se consideró que la presencia de nitritos y nitratos en el agua de los estanques está fuertemente asociada a la oxidación del amoníaco a través de bacterias nitrificantes (Pacheco Ávila, Pat Canul & Cabrera Sansores, 2002), así mismo, el porcentaje de saturación de oxígeno se puede calcular conociendo la cantidad de oxígeno disuelto (OD) y la temperatura (Jimenez & Vélez 2006).

Por lo que finalmente se definieron como características de calidad de agua a ser monitoreadas la temperatura, la acidez a través del pH, la cantidad de oxígeno disuelto y la cantidad de amoníaco en el agua.

El sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua para producción piscícola se diseñó considerando tres etapas; adquisición de la información, acondicionamiento de señales y procesamiento y visualización de la información. El diagrama de la Figura 2 muestra de forma general el proceso de diseño del sistema de monitoreo.

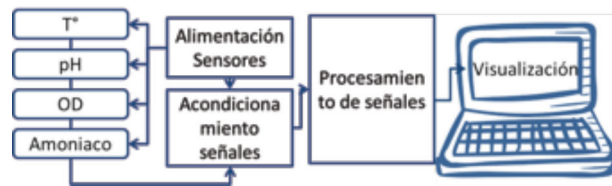


Fig. 2. Diagrama general del prototipo de monitoreo de calidad de agua

Fuente: autores

2.1 Sensores y acondicionamiento

2.1.1 Temperatura

El monitoreo de temperatura se realizó con una sonda sumergible de resistencia de temperatura de platino de 100 ohm, que consiste en un detector que varía su resistencia al cambiar la temperatura. El sensor PT100 tiene un rango de medición que va desde -70°C a 260°C y una precisión de $\pm 0.3^\circ\text{C}$.

Para el acondicionamiento de la señal de temperatura se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 3, que se basa en un puente de wheatstone para convertir las variaciones de resistencia en variaciones de voltaje.

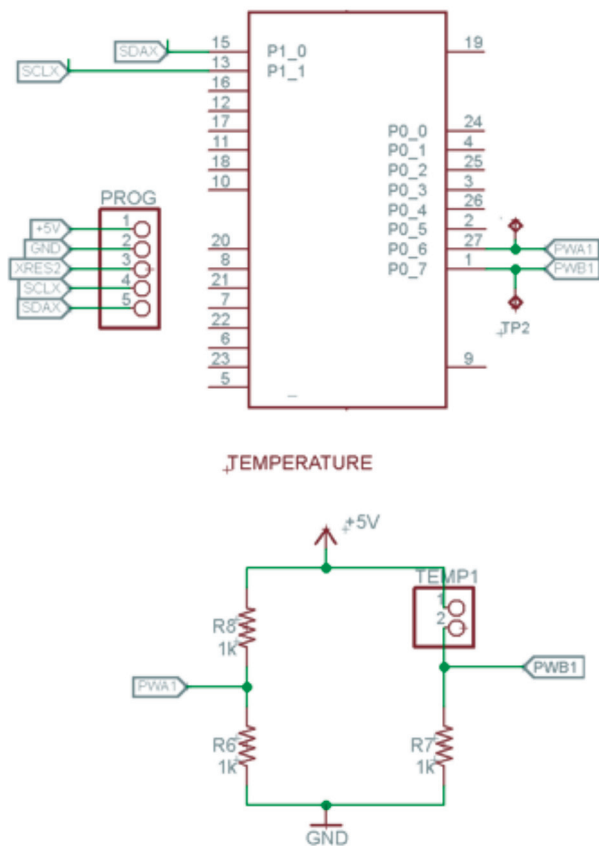


Fig. 3. Acondicionamiento del sensor de temperatura PT100

Fuente: autores

El voltaje diferencial entre los puntos PWA y PWB es leído por el microcontrolador y asociado a un valor de temperatura de acuerdo a la curva y ecuación de la figura 4, que tiene un comportamiento lineal para el rango de 0 a 100°C. Los cálculos de conversión entre la data cruda y el valor de temperatura desplegado al usuario son realizados mediante el algoritmo del programa de computador, previo a la visualización.

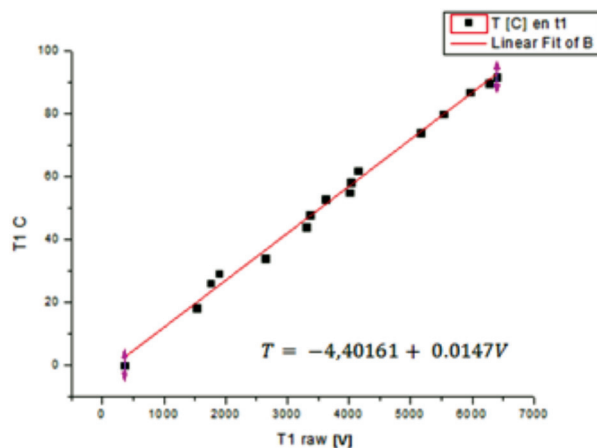


Fig. 4. Curva de caracterización de voltaje medido vs Temperatura en un rango de 0°C a 100°C y ecuación

Fuente: autores

2.1.2 pH

Para monitorear la acidez del agua mediante el potencial de hidrógeno (pH), que indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en el agua, se utilizó un electrodo de medición de pH en líquidos.

Para el acondicionamiento de la señal de pH se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 5, que se basa en dos amplificadores operacionales en cascada para dar ganancia a la señal antes de ser leída por el microcontrolador. El circuito es alimentado por un regulador de voltaje de alta precisión LT1634, debido a que la señal de pH se afecta con el ruido en el voltaje de entrada.

El sensor de pH genera una variación de salida de 50mV (Scientific, 2010) por unidad de pH medida, en la figura 6 se presenta la curva de ajuste y la función de transferencia.

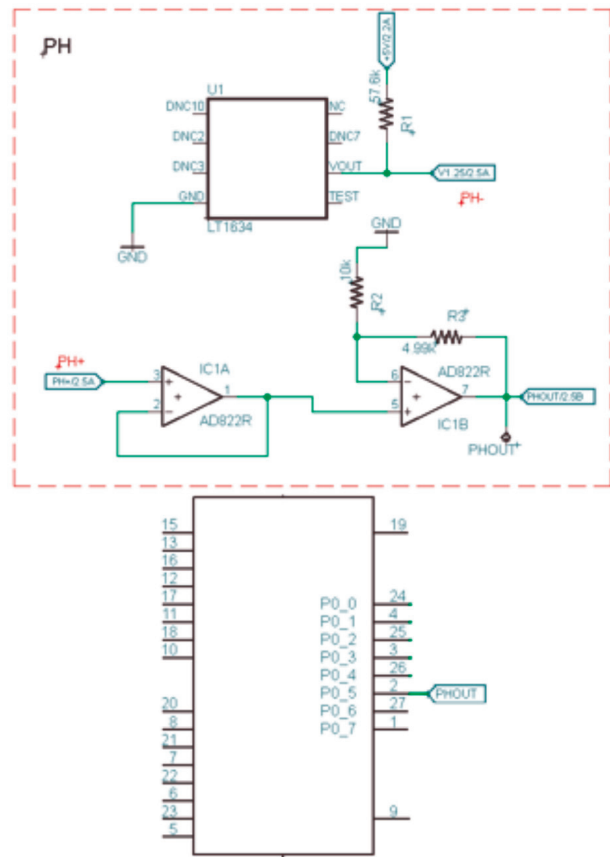


Fig. 5. Acondicionamiento del sensor de pH.

Fuente: autores

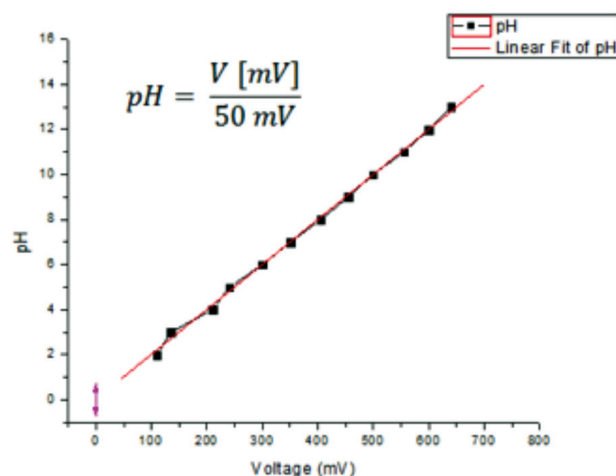


Fig. 6. Curva de caracterización de pH y ecuación.

Fuente: autores

2.1.3 Oxígeno disuelto

El monitoreo de oxígeno disuelto se realizó mediante una sonda galvánica que no necesita tiempo de polarización y cuenta con una solución y membrana de medición que son reemplazables, con duración aproximada de un año.

El sensor ENV-40-DO tiene un rango de detección de 0 a 100 mg/L (o ppm) y un tiempo de respuesta de 0.3 mg/L/por segundo (Atlas Scientific, 2018).

Para el acondicionamiento de la señal de oxígeno disuelto se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 7, que se basa en un amplificador diferencial con ganancia fija.

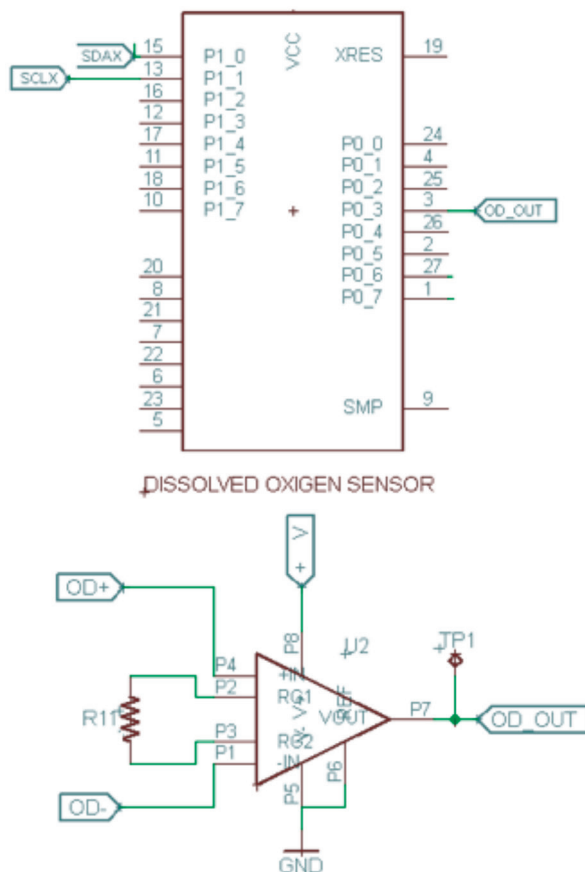


Fig. 7. Acondicionamiento del sensor de oxígeno disuelto ENV-40-DO

Fuente: autores

El sensor de oxígeno disuelto genera una salida de 30mV por mg/L de oxígeno disuelto medido, en la Figura 8 se presenta la curva de ajuste y la función de transferencia. Al igual que con los demás sensores, los cálculos de conversión entre la data cruda y el valor que visualiza el usuario son realizados mediante el algoritmo del programa de computador, previo al despliegue.

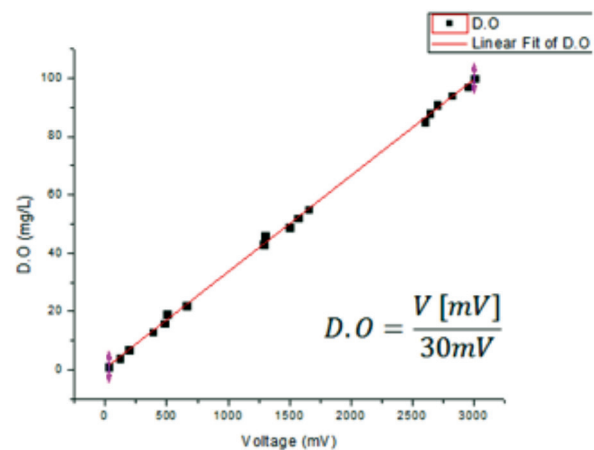


Fig. 8. Curva de caracterización de voltaje medido vs oxígeno disuelto en un rango de 0 a 100 mg/L (o ppm) y ecuación

Fuente: autores

2.1.4 Amoníaco

Para monitorear la cantidad de amoníaco que se presenta disuelto en el agua en forma de iones de amonio, se utilizó el sensor de amoníaco en gas MQ137, ubicado en la interfaz agua-aire del estanque.

Para el acondicionamiento de la señal de amoníaco se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 9, que se basa en un amplificador no inversor con ganancia variable cuya señal de salida es procesada y leída por el micro controlador.

El sensor de amoníaco genera una salida de 0 a 4 voltios y mide un rango de 5 a 200 ppm de amoníaco. En la Figura 10 se presenta la curva de ajuste y la función de transferencia.

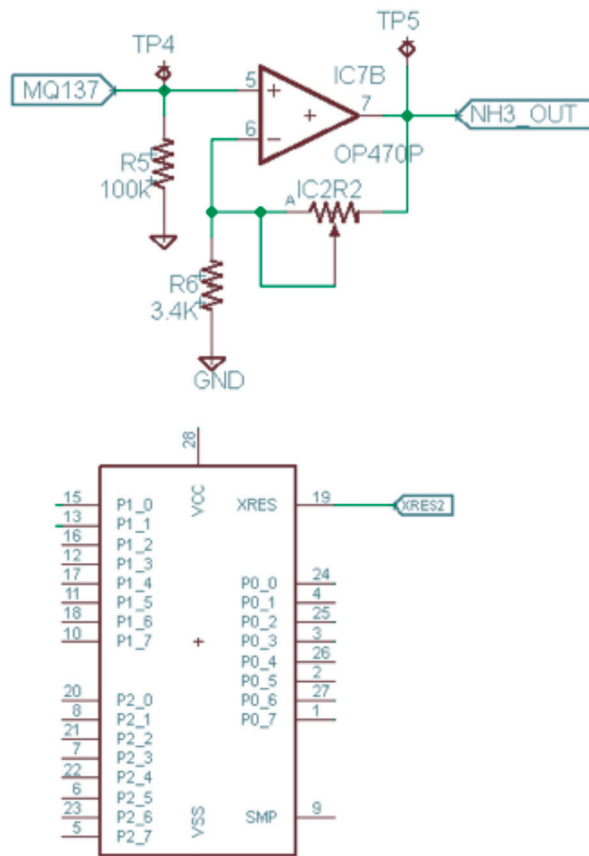


Fig. 9. Acondicionamiento del sensor de amoníaco

Fuente: autores

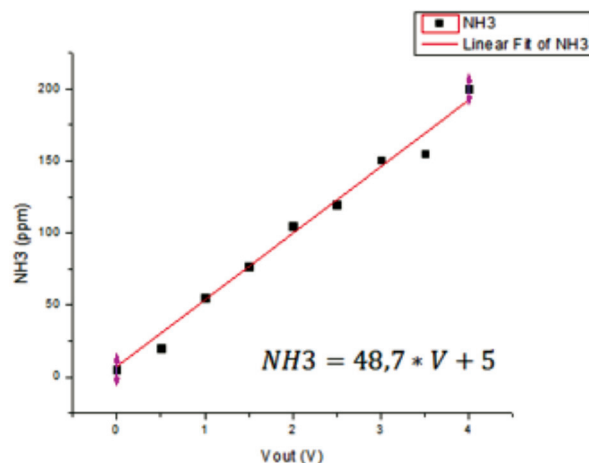


Fig. 10. Curva de caracterización del sensor de amoníaco y ecuación

Fuente: autores

2.2 Procesamiento y visualización

Se diseñó el firmware para el microcontrolador con el fin de adquirir la información de los sensores de temperatura, pH, oxígeno y amoníaco. Internamente se procesó la información y se organizó una trama para ser enviada por el protocolo RS232 convertido a USB hacia el computador. El diagrama de flujo y de funcionamiento del sistema de comunicación con el microcontrolador se muestra en la Figura 11.

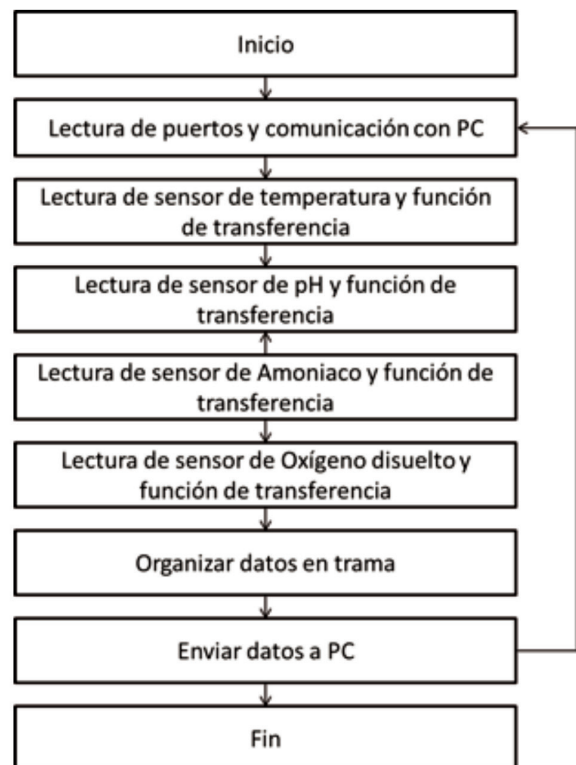


Fig. 11. Diagrama de flujo de operación del Firmware de adquisición de información y comunicación con PC

Fuente: autores

Para la visualización de la información, se diseñó el software en el entorno de trabajo Visual Studio. Cubriendo en el prototipo, las funciones de monitoreo, procesamiento y despliegue de la información, conservando la usabilidad para el usuario. La Figura 12 muestra la interfaz gráfica, que despliega los valores de temperatura tanto en el ambiente como en el estanque, el pH, el oxígeno disuelto y el amoníaco. Así mismo únicamente tiene dos botones,

que le permiten al usuario conectar o desconectar la adquisición de la información. El software emite una ventaja emergente indicando si alguno de los parámetros monitoreados está fuera del rango programado como normal.



Fig. 12. Pantallazo de la interfaz gráfica del software de monitoreo Mamá Lombriz.

Fuente: autores

2.3 Apropiación social del conocimiento

La puesta en marcha del prototipo de monitoreo de calidad de agua para cultivo de peces se realizó en la granja piscícola Mamá Lombriz, donde el principal objetivo fue brindar a la comunidad piscícola una herramienta para toma de decisiones sobre las condiciones de los estanques con miras a incrementar la producción de peces y disminuir las tasas de mortalidad.

El proyecto se acompañó por capacitaciones y charlas a la comunidad con los objetivos de aprender a usar la herramienta, apropiar las ventajas del monitoreo de calidad de agua e identificar las acciones ante cada alerta en los parámetros de calidad de agua. La figura 13 muestra algunas de las visitas e interacciones entre la academia y la sociedad.



Fig. 13. Visitas técnicas de los estudiantes de Ingeniería industrial de Unicomfauca a la granja Mamá Lombriz.

Fuente: autores

Por medio del trabajo con la comunidad se identificó que acciones correctivas tomar ante cada alerta presentada en el software. En el estanque de prueba se instalaron motores para oxigenar el agua y calentadores para ser activados en caso de que los valores de oxígeno y temperatura estuvieran por fuera del rango aceptable. Para el caso del pH y amoníaco, los piscicultores cuentan con químicos aprobados por el ministerio de agricultura para controlarlos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo de monitoreo de calidad de agua para estanques piscícolas se ensambló inicialmente en ambiente controlado de laboratorio, donde se verificó la respuesta de los sensores y la calibración de cada uno, como se muestra en la Figura 14.

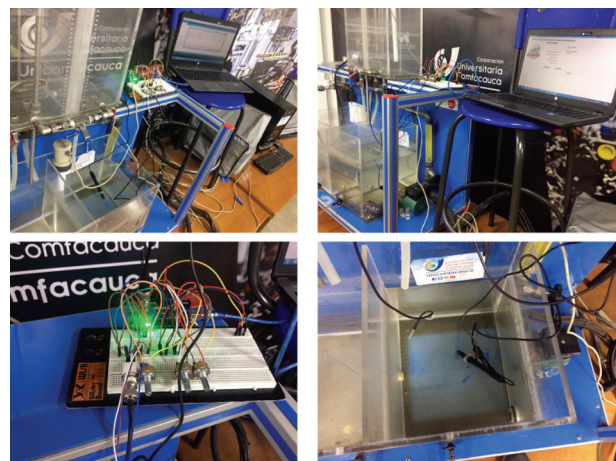


Fig. 14. Prototipo de monitoreo de calidad de agua en laboratorio.

Fuente: autores

Las validaciones del prototipo se realizaron con muestras de agua tomadas directamente de los estanques. Se relacionaron los valores medidos con la cantidad de peces y las tasas de mortalidad en cada estanque. El análisis de los resultados se realizó mediante el diseño experimental de rápida respuesta de Taguchi, basado en arreglos ortogonales, indicados con el nombre L8 donde se indica un arreglo de 8 corridas (Kavanaugh 2002). El diseño experimental se realizó con las variables de temperatura, pH, oxígeno disuelto y amónico, cada una con su respectiva variable de respuesta que corresponde al porcentaje de muertes de tilapia roja en el estanque.

Como resultado se puede inferir que todos los factores tienen efectos principales en la cantidad de muertes de peces. A mayor temperatura, oxígeno y pH se tiene una reducción de las muertes en el estanque y a mayor cantidad de amoníaco se presenta un aumento de las muertes de tilapia roja en el estanque monitoreado.

En la Figura 15 se presenta la gráfica que correlaciona los parámetros con la mortalidad de los peces. Es importante aclarar que debido a que se trabajó con la producción de la granja, los parámetros no sufrieron grandes variaciones con el fin de no afectar la producción.

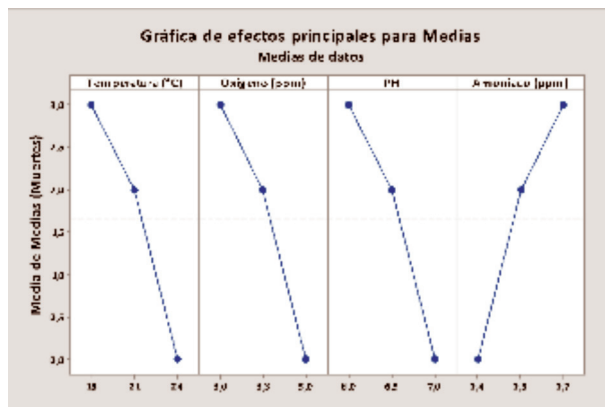


Fig. 15. Relación de parámetros de calidad de agua con porcentaje de muerte en peces cultivados

Fuente: autores

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conocer los parámetros de calidad de agua en estanques de peces en tiempo real, permite al productor actuar ante cualquier variación por fuera del rango normal a modo que la tasa de mortalidad en los peces se mantenga baja.

El monitoreo automatizado permite al piscicultor estandarizar sus cultivos y la cantidad de insumos agrícolas que debe adquirir, teniendo mayor control sobre su producción.

Contar con un monitor de calidad de agua en tiempo real, le permite al productor piscícola expandir su producción, ya que el manejo del tiempo y de los recursos es más eficiente.

La identificación de los rangos de valor de los parámetros de calidad de agua en estanques de piscicultura corresponde a una información valiosa para el desarrollo de futuros prototipos y plataformas de monitoreo y control de calidad de agua en esa área.

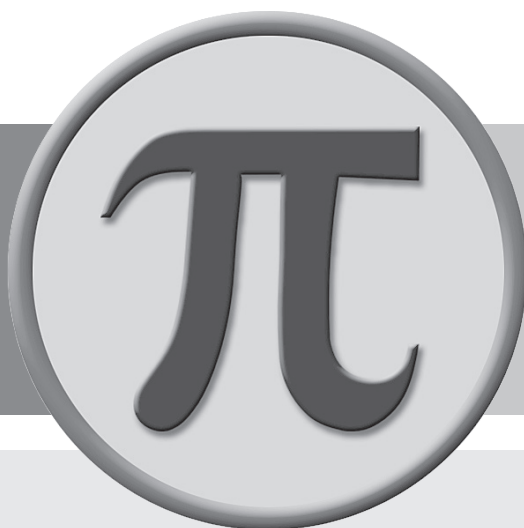
El desarrollo de proyectos de investigación asociados a comunidades y que implican la interacción Universidad Empresa Estado Sociedad (UEES), es una experiencia meritoria para los estudiantes del semillero de investigación, que les permite fortalecer sus habilidades de investigadores y sus habilidades de interacción con el sector externo.

Para complementar los análisis realizados en este trabajo se propone el diseño experimental clásico, que permite determinar las interacciones de las variables continuas e incluir mayor número de variables de respuesta con el fin de encontrar el mejor ajuste de los parámetros monitoreados, aportando a mejorar la competitividad y productividad de la cadena piscícola en el Cauca

Se propone como trabajo futuro la realización de un estudio detallado de cada variable de calidad de agua correlacionándolo con la tasa de crecimiento de los peces para encontrar un rango óptimo que no sea solo asociado a reducción de la tasa de mortalidad de los peces sino a potenciar y optimizar el proceso de engorde.

REFERENCIAS

- Atlas Scientific (2018). Dissolved oxygen.
- Atlas Scientific (2010). pH Probe Datasheet, Atlas Scientific, Recuperado de: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/pH-probe-datasheet.pdf
- Bonilla, B. L., Montoya Bonilla, B. P., Gómez, J. & Caja, A. (2018). Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de Tilapia (*Oreochromis sp*) en Mamá Lombriz, vereda Río Blanco, Popayán, Colombia. *Teknos Revista Científica*, 18(1), 24-30.
- Brown, L. (2000). *Acuicultura para veterinarios: producción y clínica de peces*. Zaragoza: Acribia.
- Carlino, H., Netto, M., Suárez, E. & Vasa, A. (2017). *La contribución de la banca pública de desarrollo a los objetivos de desarrollo sostenible en los países de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/es/la-contribucion-de-la-banca-publica-de-desarrollo-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-en-los> DOI: 10.18235/0000625
- Chavarro, D., Vélez, M. I., Tovar, G., Montenegro, Hernández, A. & Olaya, A. (2017). *Los objetivos de desarrollo sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación*. Colciencias. Recuperado de: http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/objetivos_de_desarrollo_sostenible_y_aporte_a_la_cti_v_3.5.pdf
- Correa-Muñoz, N. & Higido-Castro, J. F. (2017). Determination of landslide susceptibility in linear infrastructure. Case: aqueduct network in Palacé, Popayan (Colombia). *Ingeniería e Investigación*, 37(2), 17-24. DOI: 10.15446/ing.investig.v37n2.59654.
- Durán Pérez, C. E. (2015). Gasto hídrico en la producción de tilapia roja en la granja experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Tesis de grado. Ocaña: Universidad Francisco de la Paula Santander. Recuperado de: <http://repositorio.ufps.edu.co:8080/dspaceufps/bitstream/123456789/1028/1/28584.pdf>
- Esquivel, M. A., Merino, M., Restrepo, J., Narváez, A., Polo, C. J., Plata, J. & Puentes, V. (2014). *Estado de la pesca y la acuicultura 2014*. AUNAP. Recuperado de: http://www.aunap.gov.co/files/ESTADO_DE_LA_PESCA_Y_ACUICULTURA_2014_.pdf
- Jiménez, M. A. & Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 14, 53-70. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9331>
- Joaquín-Daza, S. (2011). Gestión ambiental para sistemas productivos piscícolas, en ecosistemas altoandinos en el contexto de la producción más limpia. *Ambiente y Sostenibilidad*, 1, 18-24. doi: <https://doi.org/10.25100/ays.v1i1.4334>
- Kavanaugh, C. F. (2002). Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos. *Conciencia Tecnológica*, 19, 1-5. DOI: 10.1016/j.hrthm.2015.12.042
- Marroquín, E. (2018). Efecto de la inclusión de ingredientes no tradicionales en la alimentación de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) sobre parámetros hematológicos y bioquímica sanguínea. Tesis de grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10441/1/Tesis%20Med%20Vet%20Esteban%20Marroquin%20Arroyave.pdf>
- Pacheco Ávila, J., Pat Canul, R. & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73-81. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760308>
- Parrado Sanabria, Y. A. (2012). Historia de la acuicultura en Colombia. *AquaTIC*, 37, 60-77. Recuperado de: <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/146>
- Ruano, E., Silva, V. & Rivera, W. (2015). Cadena productiva y capital social: el caso de la piscicultura del Cauca, Colombia. *Interações*, 16(2), 257-264. DOI: 10.1590/151870122015202
- SIPSA (2014). El cultivo de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en estanques de tierra, fuente de proteína animal de excelente calidad. SIPSA, Minagricultura, DANE. *Boletín mensual. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*, 21, Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/insumos_factores_de_produccion_mar_2014.pdf



**Revista Especializada
en Tecnología
e Ingeniería**

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LEVADURA COMERCIAL PARA EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE HIDROMIEL

EVALUATION AND SELECTION OF COMMERCIAL YEAST FOR THE ALCOHOL FERMENTATION PROCESS OF MEAD

¹ Johana Herrera,² Leinis León,³ Yusleivis Torres,
⁴ Natalia Cano,⁵ Adriana Herrera,⁶ Martha Cuenca*

^{1,2,3,4,5,6} Grupo de investigación: Nanomateriales e Ingeniería de Procesos Asistida por Computador NIPAC,
Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Colombia

Recibido: 15/04/2019 Aprobado 10/05/2019

RESUMEN

La fermentación alcohólica ha sido a lo largo de la historia fundamental para el desarrollo de bebidas alcohólicas tales como el vino, la cerveza y el hidromiel. Sus características fisicoquímicas y sensoriales son diferentes no sólo por el origen de las materias primas sino también por el tipo de microorganismo utilizado para llevar el proceso fermentativo. A nivel industrial, la *Saccharomyces cerevisiae* es la levadura comúnmente utilizada para la producción de bebidas alcohólicas. Sin embargo, en el caso del hidromiel, producto obtenido a partir de miel de abejas diluida y fermentada, comercialmente no hay disponibilidad de levaduras especializadas para este tipo de producto. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la fermentación alcohólica para la obtención del hidromiel utilizando diferentes levaduras disponibles comercialmente. El proceso fermentativo fue realizado de acuerdo con la metodología de proceso estandarizado de hidromiel propuesto en la literatura (Quicazán, Cuenca, & Paz, 2018). De acuerdo con la disponibilidad para su adquisición, se evaluaron tres levaduras diferentes de la especie (*Saccharomyces cerevisiae*) de las marcas: A (Instant Success), B (Safcider), y C (Safoeno VR 44). Para la selección de la levadura se establecieron tres objetivos: grados Brix y concentración de etanol en porcentaje v/v al final de la fermentación, y una evaluación sensorial afectiva del producto final con 30 jueces no entrenados para evaluar la preferencia. Todas las fermentaciones se llevaron a cabo por duplicado a 25°C durante 408 horas partiendo de un mosto preparado a partir de miel de abejas diluida, con 24°Brix. La levadura B permitió obtener una bebida con 17,5% (v/v) de etanol y una preferencia general de 36,7%. Sin embargo, la bebida obtenida con la levadura C que contenía 10,95% (v/v) de etanol presentó la preferencia más alta por parte de los potenciales consumidores. Por lo tanto, teniendo en cuenta no sólo el contenido de etanol sino la preferencia por consumidores potenciales, se seleccionó la levadura C con el fin de desarrollar futuros estudios tendientes a abordar la producción de hidromiel enfocada al consumidor local colombiano.

Palabras clave: características organolépticas, etanol, fermentación alcohólica, hidromiel.

¹ jherrerat2@unicartagena.edu.co, orcid.org/0000-0002-3602-3218

² lleonl@unicartagena.edu.co, orcid.org/ 0000-0002-1256-7739

³ Ytorresm@unicartagena.edu.co, orcid.org/ 0000-0002-1168-1572

⁴ ytorresm2@unicartagena.edu.co, orcid.org/ 0000-0002-3488-5420

⁵ aherrerab2@unicartagena.edu.co, orcid.org/ 0000-0002-4355-3401

⁶ *Autor de Correspondencia: mcuencaq@unicartagena.edu.co, orcid.org/ 0000-0003-4243-7625

ABSTRACT

*Throughout history, alcoholic fermentation has been fundamental to the development of alcoholic beverages such as wine, beer and mead. Their physicochemical and sensory characteristics are different not only because of the raw materials origin but also because of the type of microorganism used to carry out the fermentation process. *Saccharomyces cerevisiae* is the yeast commonly used to produce alcoholic beverages. However, in case of mead, a product obtained from diluted honey and fermented, specific yeasts are not commercially available. Therefore, the aim of this work was to evaluate the alcoholic fermentation for obtaining mead using different commercially available yeasts. The fermentation process was carried out according to the standardized mead process methodology proposed in the literature (Quicazán, Cuenca, & Paz, 2018). According to the availability for acquisition, three different yeasts of the species (*Saccharomyces cerevisiae*) of the brands: A (Instant Success), B (Safecider), and C (Safoeno VR 44), were evaluated. Three objectives were established to select yeast: Brix degrees behavior over time, final ethanol concentration in percentage v/v and an affective sensory evaluation of the final product with 30 non-trained panelists to evaluate their preference. All fermentations were carried out in duplicate at 25°C for 408 hours using a must prepared from diluted honey, with 24°Brix. From B yeast it was obtained a beverage with 18% (v/v) ethanol and a general preference of 36,7%. However, the C yeast beverage containing 11,3 per cent (v/v) ethanol showed the highest preference among potential consumers. Therefore, considering not only ethanol content but also preference from potential consumers. Thus C yeast was selected in order to develop future studies to address the production of mead focused on the local Colombian consumer.*

Keywords: alcoholic fermentation, ethanol content, mead, organoleptic characteristics, yeast.



1. INTRODUCCIÓN

Colombia, al ser uno de los países más ricos en flora (Colciencias, 2016), tiene un gran potencial para convertirse en uno de los principales proveedores de productos de la miel de abejas en el mundo. La miel de abejas es utilizada en diversos procesos para obtener otros productos con mayor valor agregado como lo es el hidromiel (Montenegro & Ortega, 2012). El hidromiel es una bebida alcohólica tipo vino con concentración volumétrica de alcohol que varía del 8% al 18% (Mendes-Ferreira *et al.*, 2010), esto es logrado gracias a la fermentación de los azúcares presentes. El hidromiel es una opción para impactar de manera positiva los mercados nacionales en la industria de bebidas alcohólicas (Ramalhosa, Gomes, Pereira, Dias, & Estevinho, 2011) y las asociaciones de apicultores del país.

El uso de levaduras es un aspecto importante en los procesos de obtención de bebidas alcohólicas, debido a que estas se encargan de la transformación de los azúcares en etanol y dióxido de carbono; asimismo transforma otros compuestos como ATP

(Adenosín trifosfato), NADH/NAD⁺ (Nicotinamida adenina dinucleótido) y NADPH/NAP⁺ (Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato), ácidos orgánicos, ésteres (responsables de olores y aromas) y otros alcoholes superiores en menos cantidad (Blanco Paz, 2016). La levadura es tan importante en el proceso fermentativo que una reciente investigación examinó la posibilidad de mejorar los procesos fermentativos incorporando biopolímeros, en los cuales la levadura es sometida a acondicionamientos, utilizando técnicas de inmovilización con el fin de mejorar el comportamiento de los parámetros que influyen (mosto de miel y temperatura del sistema), en las características sensoriales y fisicoquímicas del hidromiel (Martínez Hoyos, 2016).

Para la presente investigación se implementó la metodología de un proceso estandarizado de hidromiel propuesto en la literatura (Quicazán, Cuenca & Paz, 2018), en la cual se seleccionaron tres tipos de levaduras comerciales de la especie (*Saccharomyces cerevisiae*)

las cuales se denominaron A, B y C, correspondientes a las marcas Instant Success, Safcider y Safoeno VR44 respectivamente, con el fin de evaluar el comportamiento de las levaduras en el proceso fermentativo, teniendo en cuenta la disminución de los grados Brix, el contenido final de etanol y la preferencia general por parte de jueces no entrenados

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso biológico generado por una oxidación incompleta bajo condiciones anaerobias, es un proceso de transformación o descomposición química de hidratos de carbonos (por lo general azúcares: como la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.), en presencia de un microorganismo, bacteria o levadura para obtener como producto final alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono (CO_2). Además se da la formación de otros compuestos orgánicos (El-Mansi, Bryce, Hartley, & Demain, 2012).

2.2. Hidromiel

El hidromiel es una bebida tipo vino, considerada la bebida de los dioses por ser la bebida alcohólica más antigua en el mundo; está compuesta por agua y miel de abejas fabricada a través de un proceso de fermentación, la cual tiene unas concentraciones de entre 8% al 18% v/v de alcohol según la normalidad colombiana. Durante la última década, investigadores han buscado mejorar los procesos de fermentación de hidromiel, implementando nuevas técnicas biotecnológicas (Šturd, Gemeiner, & Navratil, 2001).

2.3. Levadura

Las levaduras son organismos unicelulares que pertenecen al reino de los hongos, las cuales han sido usadas por el hombre desde hace muchos años para obtener productos mediante el proceso de fermentación, debido a su capacidad de descomponer carbohidratos tales como el azúcar bajo condiciones anaeróbicas (Carrillo & Audisio, 2007).

2.4. Grados Brix

Los grados Brix miden el porcentaje de sólidos disueltos en un líquido; se miden con diferentes instrumentos, dentro de los cuales, el más utilizado es el refractómetro. En este caso, se relacionan con el contenido de azúcares totales en el mosto durante la fermentación (Cuenca, Quicazán, & Blanco Paz, 2013).

2.5. Evaluación sensorial

Es un estudio de las propiedades organolépticas que son percibidas mediante los órganos de los sentidos; se evalúa el olor, sabor, la textura, aroma, entre otros parámetros. Estas características contribuyen a un conjunto de estímulos analizados por los órganos de los sentidos, los cuales son importantes a la hora de medir la calidad y aceptación de un producto. Los análisis sensoriales son reconocidos como una de las formas más importantes de asegurar la aceptación del producto por parte del consumidor (Manfugás, 2007).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

La miel de abejas proviene de la cooperativa Coaopomiel (Carmen de Bolívar, Bolívar, Colombia). Como nutriente adicional se utilizó polen apícola deshidratado, proveniente del mercado local. Las levaduras comerciales se utilizaron como agente fermentador, las cuales fueron adquiridas en el mercado local. El agua utilizada era proveniente del acueducto de Cartagena y se utilizó un baño termostado para mantener la temperatura constante (Marca MVPower, USA).

3.2. Métodos

3.2.1. Ensayos de fermentación

Las fermentaciones se llevaron a temperatura constante de 25°C durante 408 horas utilizando mosto que contenía miel de abejas y agua, con 24 grados Brix iniciales. En todos los casos, se utilizó polen apícola como nutriente adicional. Las levaduras se dosificaron de acuerdo con las indicaciones de cada fabricante. Se utilizaron frascos de 40 ml de capacidad con un tapón de gasa estériles para llevar a cabo todos los ensayos de fermentación.

3.2.2. Seguimiento de grados Brix

Determinados durante todo el proceso fermentativo (408 horas), haciendo uso de un refractómetro como instrumento de medición, con el objetivo de evaluar el avance de la fermentación con respecto al tiempo.

3.2.3. Determinación del grado alcohólico

El grado alcohólico se determinó mediante destilación, teniendo en cuenta la densidad de la solución obtenida. Dicha curva es válida en el intervalo entre 2,5% a 20% v/v. La ecuación correspondiente a la curva de calibración se presenta en la ecuación (1), con un $R^2 = 0,9861$.

$$\%etanol (v/v) = -662,73 * \rho + 664,12 \quad (1)$$

Los grados alcohólicos son regulados bajo la NTC 708 de Icontec y el decreto 1686 de 2012 del Ministerio de Salud y Protección Social, estas entidades son las encargadas de la normatividad colombiana para bebidas alcohólicas. La graduación alcohólica mínima para bebidas tipo vino debe ser superior a 6 grados alcoholímetros medido a 20°C (Ministerio de Salud y Protección Social, 2012) (Icontec, 2000).

3.2.4. Pruebas sensoriales afectivas

Se realizó una prueba de preferencia en las instalaciones de la Universidad de Cartagena. Se evaluó el juicio de 30 panelistas no entrenados, consumidores regulares de bebidas alcohólicas y con edades entre 18 y 30 años, de género femenino y masculino.

Esta prueba permitió obtener la preferencia general de los panelistas no entrenados, así como también su preferencia en cuanto al olor, sabor y contenido de alcohol. Las muestras se presentaron numeradas aleatoriamente, a la misma temperatura y se varió el orden de presentación de estas para cada panelista.

3.2.5. Criterios para selección de la levadura

Con el fin de tener en cuenta parámetros de la fermentación, tales como grados Brix finales, contenido de etanol y preferencia por parte de consumidores potenciales, se construyó una función objetivo. Adicionalmente, para las características evaluadas, se

asignaron puntajes en la misma escala de 1 a 3, como se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1

Puntaje asignado a las variables fisicoquímicas y organolépticas

Parámetro	Intervalo	Puntaje
Brix finales (Bx)	8 a 10	3
	Menor de 8	2
	Mayor de 10	1
Contenido volumétrico de etanol (E)	6 a 13	3
	Mayor a 13	2
	Menor a 6	1
Aceptación general y sabor (AG)	Mayor a 35%	3
	30 a 35%	2
	Menor a 30%	1
Aceptación de aroma y alcohol (AS)	Mayor a 35%	3
	30 a 35%	2
	Menor a 30%	1

La función objetivo a partir de las variables evaluadas y su puntaje, se presenta a través de la ecuación (2).

$$\text{Función objetivo} = 1 * Bx + 1 * E + 2 * AG + 1 * AS \quad (2)$$

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Seguimiento de la concentración del sustrato

Con los datos que resultaron de la experimentación, se realizó la gráfica que relaciona grados Brix con el tiempo de fermentación. En la Figura 1 se puede observar el seguimiento que se le dio al descenso de los grados Brix, a lo largo de la fermentación, para la obtención de los diferentes hidromieles como indicativo del avance del proceso fermentativo. Esta disminución se debe a la transformación de azúcares solubles a etanol y dióxido de carbono, principalmente. El comportamiento de los grados Brix es similar a datos reportados en investigaciones relacionadas con proceso de fermentación alcohólica (Lucero, 2015).

En la Figura 1, se presenta el comportamiento de los grados Brix a lo largo del tiempo para las

fermentaciones llevadas a cabo con las levaduras evaluadas. La tendencia de las tras fermentaciones es

similar, por lo cual no puede considerarse como único criterio para la selección de la levadura.

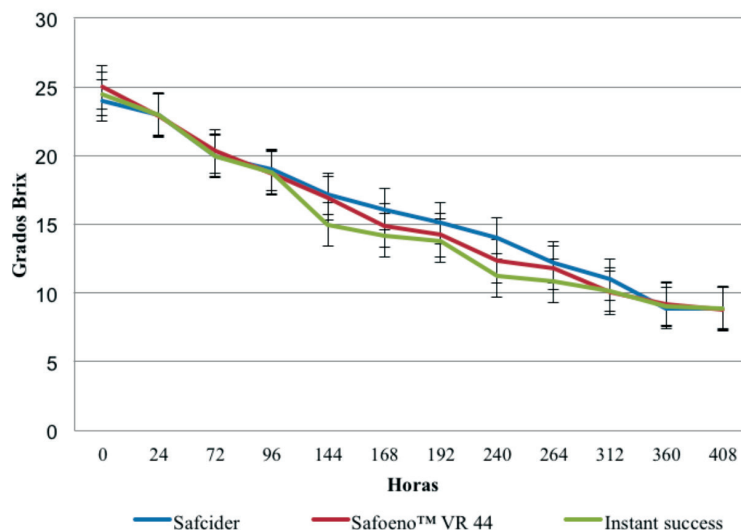


Fig. 1. Comportamiento de los grados Brix a lo largo de la fermentación para las tres levaduras.

4.2 Determinación del grado Alcohólico

Los datos de densidad obtenidos para cada marca de levadura se evaluaron en la ecuación 1 y se reportan en la Tabla 2.

TABLA 2
Porcentajes de alcohol obtenidos

Levadura	Densidad (g/ml)	% Alcohol (V/V)
A	0,9757	17,5
B	0,9856	10,95
C	0,9875	9,64

4.3 Pruebas sensoriales y de preferencia

Después de la evaluación sensorial realizada, se determinaron los porcentajes de preferencia general, en cuanto al olor, sabor y percepción de contenido de alcohol, los cuales se presentan en las Figuras 2, 3, 4 y 5.

En la en la Figura 2 se presenta el porcentaje de preferencias con respecto a la percepción general de la muestra, en este caso se observa que la muestra C obtuvo mayor apreciación por parte del público (40%).

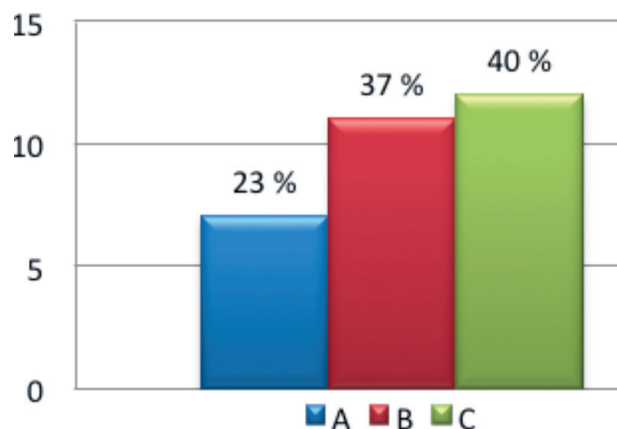


Fig. 2. Preferencia general

En la en las figuras 3 y 4 se presenta el porcentaje de personas que prefirieron cada una de las muestras basados en el aroma y sabor. En ellas se observa que, la población estudiantil de la Universidad de Cartagena, en la muestra A tuvo mayor grado de preferencia (40%), con respecto a las muestras B y C en cuanto al aroma. Referente al sabor, la muestra C tuvo mayor preferencia (43,3%) con respecto a las demás.

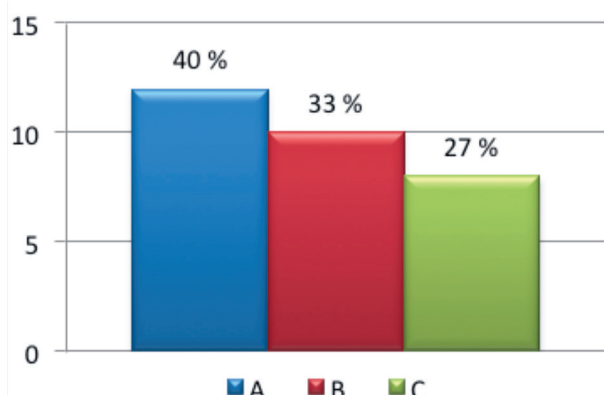


Fig. 3. Preferencias con respecto al aroma

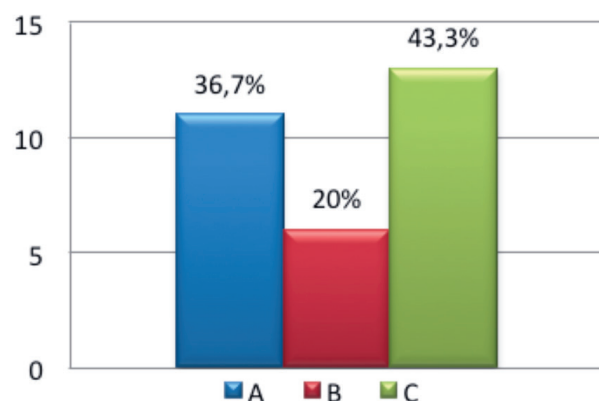


Fig. 4. Preferencias con respecto al sabor

Adicionalmente, se encontró que otro atributo importante para los consumidores, en el caso del hidromiel, es el alcohol percibido, la muestra con mayor aceptación (A) presentó el contenido más bajo de alcohol (9,9%), comparado con las muestras B y C que obtuvieron 17,5% y 10,95% respectivamente, como se muestra en la Figura 5.

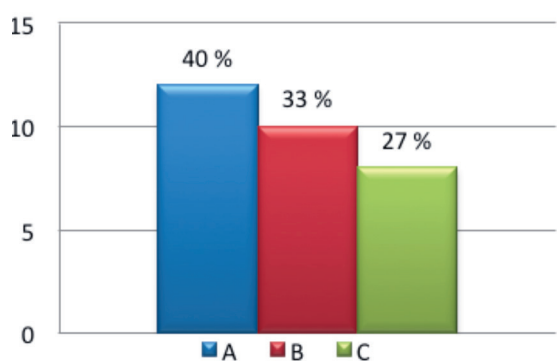


Fig. 5. Preferencias con respecto al alcohol percibido

4.4 Cálculo de la función objetivo

En la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos para la función objetivo evaluada para cada una de las levaduras, donde al hacer la ponderación de las variables consideradas, se seleccionó la levadura C, es decir Safoeno VR 44, la cual obtuvo el valor más alto para la función objetivo evaluada.

TABLA 3

Valor de la función objetivo para las levaduras evaluadas

Levadura	Valor Función objetivo
A	14
B	15
C	17

5. CONCLUSIONES

En la fermentación alcohólica de hidromiel, podemos encontrar características fisicoquímicas y sensoriales que están directamente relacionadas, tanto con las materias primas utilizadas, como con los microorganismos que tienen acción en el proceso y el tiempo de fermentación. Los potenciales consumidores pueden contribuir en la selección de productos, aportando conocimiento de los gustos locales. La adjudicación de puntajes a cada variable de interés, así como también la construcción de una función objetivo, permitió seleccionar el microorganismo más adecuado para satisfacer el gusto de los potenciales consumidores locales, permitiendo tener en cuenta el contenido final de etanol, los grados Brix finales y la preferencia por parte de los panelistas no entrenados. Por lo tanto, se determinó que la marca de levadura que mejor se adaptó a las condiciones establecidas fue la Safoeno VR44, que basado en los criterios de selección antes mencionados obtuvo 17 puntos de 21 posibles. El porcentaje volumétrico de alcohol medido para esta marca de levadura fue de 10,95 %v/v y la concentración final de sustrato medida como grados Brix fue de 8,8. Adicionalmente, mediante la evaluación sensorial obtuvo alta preferencia su sabor. Estos resultados permitirán utilizar esta levadura

para futuras fermentaciones, teniendo en cuenta parámetros clave para el proceso fermentativo, así como también parámetros sensoriales relacionados con los gustos particulares de los consumidores locales.

6. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Cartagena (Acta 140 de 2018).

REFERENCIAS

- Blanco Paz, A. J. (2016). Modelamiento cinético de la fermentación alcohólica de miel de abejas a diferentes escalas de producción. Tesis de maestría en ingeniería química. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/56557/1/1026562340.2017.pdf>
- Carrillo L. & Audisio M. C. (2007). *Manual de microbiología de alimentos*. Asociación Cooperadora UNJU, Recuperado de: <http://www.unsa.edu.ar/biblio/repositorio/malim2007/>
- Colciencias. (2016). Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo. Colciencias. Recuperado de: https://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo
- Cuenca, M., Quicazán, M. C., & Blanco Paz, A. J. (2013). Desarrollo de un modelo productivo de bebidas fermentadas de miel para generar valor en la cadena apícola colombiana. Colciencias. Recuperado de: <http://repositorio.colciencias.gov.co/handle/11146/2368>
- El-Mansi, E. M. T., Bryce, C., Hartley, B., & Demain, A. (2012). *Fermentation Microbiology and Biotechnology*. London: CRC Press.
- Icontec. (2000). NTC 708:2000. Bebidas alcohólicas. Vinos de frutas. Bogotá: Icontec.
- Lucero, P. D. (2015). Efecto del uso de levaduras y concentración de °Brix en las características fisicoquímicas y sensoriales de vino de fresa con miel. Tesis de grado en de ingeniero en agroindustria alimentaria. Escuela Agrícola Panamericana. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4636/1/AGI-2015-025.pdf>
- Manfugás, J. E. (2007). Evaluación sensorial de los alimentos. Ciudad de la Habana: Editorial Universitaria. Recuperado de: <https://s47003acac0f1f7a3.jimcontent.com/download/version/1463707242/module/8586131883/name/LIBRO%20ANALISIS%20SENSORIAL-1%20MANFUGAS.pdf>
- Martínez Hoyos, A. M. (2016). Evaluación del proceso fermentativo utilizando células libres e inmovilizadas para obtener una bebida alcohólica tipo vino a partir de miel. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/54884/7/Andr%C3%A9sMauricioMart%C3%ADnezHoyos.2016.pdf>
- Mendes-Ferreira, A., Cosme, F., Barbosa, C., Falco, V., Inês, A., & Mendes-Faia, A. (2010). Optimization of honey-must preparation and alcoholic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* for mead production. *International Journal of Food Microbiology*, 144(1), 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.016>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Decreto 1686 del 2012. Por el cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir para la fabricación, elaboración, hidratación, envase, almacenamiento, distribución, transporte, comercialización, expendio, exportación e importación de bebidas alcohólicas destinadas para consumo humano. Recuperado de: [www.invima.gov.co › decreto-no-1686-9-ago-de-2012-pdf](http://www.invima.gov.co/decreto-no-1686-9-ago-de-2012-pdf)
- Montenegro, G., & Ortega, X. (2012). Innovación y valor agregado en los productos apícolas diferenciación y nuevos usos industriales (Informe). Agrimundo: Recuperado de: <http://www.agrimundo.gob.cl/wp-content/uploads/Informe-Apicultura-VF220120132.pdf>
- Ramalhosa, E., Gomes, T., Pereira, P., Dias, T., & Estevinho, M. (2011). Mead Production: Tradition Versus Modernity. En R. Jackson (Ed.). *Food and Nutrition Research. Speciality Wines*. (1st ed., Vol. 63). Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/8b0c/95810d50ef98709943f138afdb432640f378.pdf>
- Šturd, E., Gemeiner, P., & Navratil, M. (2001). Batch and continuous mead production with pectate immobilised, ethanol-tolerant yeast. *Biotechnology Letters*, 23(12), 977-982. DOI: 10.1023/A:1010571208324
- Quicazán, M. C., Cuenca, M. M., & Paz, A. B. (2018). *Producción de hidromiel en el contexto de la apicultura en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

DISEÑO DE UN CANSAT PARA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

DESIGN OF A CANSAT FOR MEASURING ENVIRONMENTAL VARIABLES



¹ Oscar Alberto Jaramillo,

² Raúl Camacho Bríñez,

³ Juan Camilo Tejada

^{1,2,3} Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería,
Universidad Nacional Abierta y a Distancia - Unad, Ibagué, Colombia

Recibido: 12/04/2018 Aprobado 25/07/2018

RESUMEN

En el diseño de la estructura del pico satelital (CanSat: Can-Satellite), que permite simular las características de un satélite real, integrado en el volumen y la forma de una lata de soda, los principales subsistemas encontrados en un satélite fueron tenidos en cuenta, como potencia, sensores y un sistema de comunicación. La implementación se realiza con una NodeMCU V3 que es una placa de hardware abierto basada en ESP8266 (con un microprocesador Tensilica L106 de 32 bits), que nos permite establecer comunicación con los módulos: GPS, transceptor de RF y sensores; este es uno de los componentes actualmente utilizados para la implementación de sistemas basados en Internet de las cosas (IoT); Esto permite una alta disponibilidad de los componentes, incluidos los sensores, así como un bajo costo para la implementación y fabricación del pico-satélite.

Palabras clave: componente, estilo, formato, insertar.

ABSTRACT

In the design of the structure of the satellite peak (CanSat: Can-Satellite) that allows to simulate the characteristics of a real satellite, integrated into the volume and shape of a soda can, the main subsystems that were found were taken into account in a satellite, such as power, sensors and a communication system. The implementation is done with a NodeMCU V3 which is an Open Hardware board based on ESP8266 (with a 32-bit Tensilica L106 microprocessor), which allows us to establish communication with the modules: GPS, RF transceiver, and sensors. It is one of the components currently used for the Internet of Things (IoT); this allows a high availability of the components, including the sensors, as well as a low cost for the implementation and manufacturing of the pico- satellite.

Keywords: component, formatting, style, insert.

¹ oscaralberto.j@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4335-6368

² raul.camacho@unad.edu.co, orcid.org/0000-0003-2063-7917

³ juan.tejada@unad.edu.co, orcid.org/0000-0003-1195-3379

1. INTRODUCCIÓN

Un CanSat es un sistema del tamaño de una lata de refresco (66 mm de diámetro y 115 mm de altura), con una masa entre 300 y 350 gramos, cuyo objetivo es cumplir una misión predeterminada que puede incluir recoger datos de sensores y transmitirlos a una estación base en tierra (estos también pueden ser almacenados), para su visualización y posterior análisis, o efectuar un retorno controlado. El CanSat está equipado con un sistema de recuperación (generalmente un paracaídas, pero también puede ser un parapente, o un sistema de alas o rotores, o una combinación de estos), para limitar el daño en el proceso de retorno y permitir la reutilización del CanSat. Para la academia, el CanSat juega un papel fundamental como introducción a la enseñanza de tecnologías aeroespaciales, debido a su bajo costo. El presupuesto total del modelo CanSat final no debe superar los 500 €, y su pequeño volumen.

Los CanSats se despliegan desde pequeños cohetes (hasta unos 1.000 metros aproximadamente), globos o drones en altura, lo que varía según la competencia. Es similar a la tecnología utilizada en los satélites miniaturizados. Los CanSat no son “satélites” en el sentido estricto de su definición, pues estos nunca han salido de la atmósfera, ni han orbitado la tierra.

2. METODOLOGÍA

2.1. Definición de la misión

Diseño de un pico satélite para medición de variables ambientales, como temperatura, humedad del aire y presión atmosférica. Un sistema de posicionamiento global (GPS), y un sistema de medición inercial (IMU), que identifica la actitud del satélite, el momento y la posición en que fueron tomados los datos. En la Fig. 1 se puede observar el método de diseño



Fig. 1. Método de diseño preliminar del satélite.

Fuente: autores

2.2. Características del CanSat

Para cumplir los requisitos de la misión, el satélite debe poseer las siguientes características (ESA 2017):

- Tamaño del sistema: 115 mm de altura y 66 mm de diámetro, con la excepción del paracaídas.
- Las antenas, transductores y otros elementos del CanSat no pueden extenderse más allá del diámetro de la lata hasta que haya salido del vehículo de lanzamiento.
- La masa del CanSat debe estar entre 300 y 350 gramos.
- El CanSat debe ser alimentado por una batería y/o paneles solares. Debe ser posible que los sistemas se enciendan durante cuatro horas continuas.
- La batería debe ser fácilmente accesible en caso de que tenga que ser reemplazada / recargada.
- El CanSat debe tener un interruptor de alimentación principal fácilmente accesible.

- El CanSat debe tener un sistema de recuperación, como un paracaídas, capaz de ser reutilizado después del lanzamiento.
- La conexión del paracaídas debe ser capaz de soportar hasta 1000 N de fuerza.
- Tiempo máximo de vuelo de 120 segundos.
- Velocidad de descenso entre 8 y 11 m/s.
- El CanSat debe ser capaz de soportar una aceleración de hasta 20 g.

2.3. Funciones del CanSat

Para cumplir los requisitos de la misión, el satélite realiza las siguientes funciones:

- Adquisición de las medidas de temperatura ambiente, humedad del aire, y presión atmosférica.
- Adquisición de las medidas de un sistema de posicionamiento global, y un sistema de medición inercial.
- Codificación de información obtenidas y transmisión a la estación base en tierra.
- Adquisición y transmisión de información de señales, telemetría y datos a la estación base en tierra.
- Recepción de información del programa de comando desde la estación base de control en tierra (opcional).

2.4. Diseño preliminar del CanSat

El primer paso para diseñar un CanSat es identificar las restricciones dadas por la competencia, determinar el tiempo de vuelo, la función de la carga útil, la potencia requerida, la masa y el tamaño. Y a partir de estas establecer una configuración preliminar.

Antes de tener una configuración preliminar se identifican las opciones de componentes y su selección empieza a responder las preguntas relacionadas con el proceso de diseño, como el método de control del satélite, el sistema de comunicaciones, la potencia total estimada del sistema, el tamaño de la batería, el peso y volumen de los componentes.

Para comenzar la configuración inicial del CanSat, se identifican los componentes claves y sus

características críticas. Esto genera una lista preliminar de componentes, que incluye información como cantidad, tamaño, masa y la potencia requerida para cada componente.

Con esta lista, se puede iniciar la configuración del CanSat, identificar los sensores requeridos, las antenas, y las pautas básicas del ensamble del sistema, como la organización de los componentes y su montaje en la estructura. La configuración resultante es solo un punto de partida para una cadena de iteraciones. El proceso de diseño preliminar del satélite.

Para la comunicación se especifica la frecuencia de operación, la velocidad de datos, ganancia de las antenas, las pérdidas en el espacio libre y las características de la estación receptora. El transmisor típicamente debe estar cerca de la antena.

Los subsistemas tienen una gran influencia en el diseño de la configuración del satélite. Los componentes clave se deben definir en primera instancia, y se pueden agregar componentes menores a medida que la configuración va tomando forma.

2.5. Diseño detallado del CanSat

Del proceso anterior se obtiene la información que permite visualizar el CanSat y proceder con el diseño detallado de este. La configuración del CanSat obtenida no es única ni la correcta, pues depende de las condiciones y restricciones impuestas o no al sistema.

Con múltiples iteraciones y considerando los requisitos, el costo y el cronograma, el equipo de diseño debe entregar una configuración que sea la mejor para el programa. Esto da como resultado algunos compromisos: para el mejor sistema, aunque cada subsistema puede no ser ideal. La confiabilidad y el costo son dos consideraciones claves en este proceso, lo que significa que es necesario buscar la simplicidad, la menor cantidad de piezas, el uso de componentes previamente calificados y la tecnología probada, y un diseño que se pueda construir y/o fabricar.

El CanSat consta de los siguientes subsistemas:

- Subsistema de control (Computadora central). NodeMCU V3 ESP8266EX (Espressif 2018).
- Subsistema de manejo de datos y plataforma. Programa en el ESP8266 para manejo de los protocolos de comunicaciones con los módulos y sensores (UART, I2C, y SPI), la adquisición de datos, la codificación de estos y su transmisión a la estación base en tierra.
- Subsistema de control potencia. Administra la energía suministrada por las baterías a todo el CanSat. Puede ser tan simple como un cargador y regulador de voltaje (3.3V para el CanSat), o un sistema inteligente de manejo de energía que permita determinar en tiempo real: el consumo del sistema, nivel de carga de la batería, estado de la batería, temperatura.
- Subsistema de energía. Baterías de Litio TR 18650. 3.7V 4000mAh.
- Subsistema de posicionamiento global (GPS). UART GPS NEO-7M-C (B). WS-9636.
- Subsistema de sensores de presión atmosférica y temperatura ambiente (ADAF-2651), humedad relativa (HDC1008), unidad de medición inercial (GY-521 Modulo MPU6050)– acelerómetro y giroscopio).
- Subsistema de comunicaciones RF. Módulo RF Transceptor RFM95W-915MHz
- Subsistema de estructuras y mecanismos. Kit de separadores de nylon M2, y anillos de soporte.

La figura 2 muestra los subsistemas que componen el CanSat, la conexión de comunicación (protocolo) entre los subsistemas: sensores, GPS y comunicación RF. Subsistema de control de potencia y subsistema de energía (baterías). La selección de cada componente depende de la discusión previa de las características y funciones del CanSat y la identificación de los subsistemas.

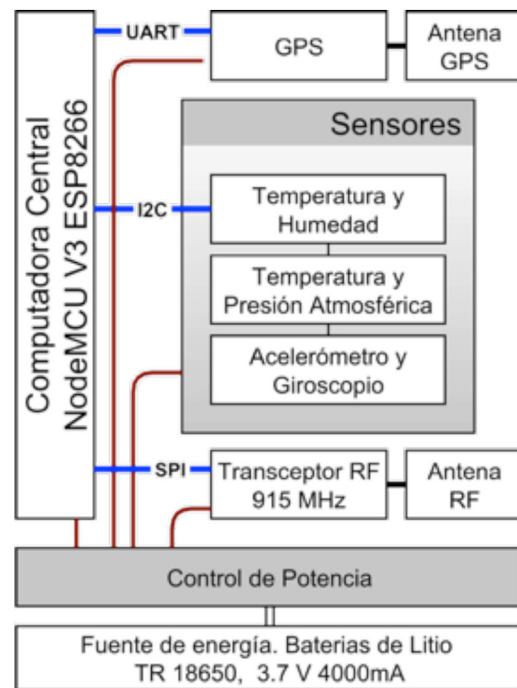


Fig. 2. Diagrama general del CanSat.

Fuente: autores

2.6. Restricciones de montaje e integración

En este caso la forma cilíndrica del CanSat y sus dimensiones ya están definidas previamente y son la principal restricción física. En la figura 3 se muestra el Render 3D del modelo del CanSat creado.

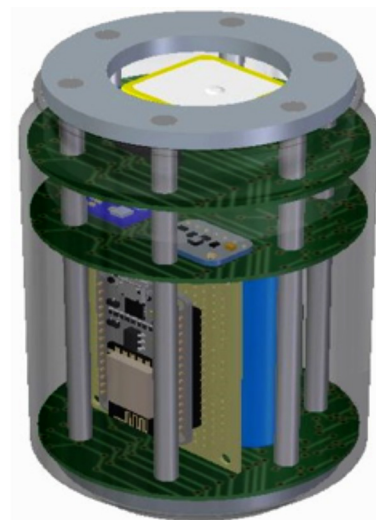


Fig. 3. Render 3D del modelo del CanSat.

Fuente: autores

En la figura 3 se aprecia la ubicación de la antena del módulo GPS en la parte superior del CanSat y el anillo de sujeción del paracaídas. Una tarjeta intermedia destinada a la ubicación de los sensores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. En la parte inferior del CanSat se ubican de forma vertical la computadora central (NodeMCU V3 ESP 8266); en la parte posterior se ubican verticalmente dos baterías de Litio TR 18650, el control de potencia y el módulo de comunicación transceiver RF. Bajo el CanSat se ubica la Antena de RF

2.7. Carga útil

La carga útil en este caso son los sensores ambientales. Estos requieren estar inmersos en el flujo de aire a lo largo de la trayectoria de vuelo para contar con una medición fiable en las diferentes alturas y corrientes de aire en aquellas; se debe forzar a que el aire pase por estos sensores y adicionalmente que el flujo de aire no desestabilice el CanSat durante su descenso.

Se debe diseñar la distribución de componentes de tal forma que el centro de masa del CanSat se mantenga en su parte más baja y centrado respecto a su eje vertical, para que este no pierda estabilidad durante el descenso. Las baterías son los elementos más pesados de todo el sistema y su ubicación es determinante para lograr esta estabilidad.

2.8. Determinación de actitud y control del CanSat

Dado que el CanSat no posee actuadores que permitan ejercer control sobre su orientación y dirección, está a merced de las condiciones climáticas (principalmente el viento) durante su descenso. Aunque la unidad de medición inercial entrega datos sobre la posición y orientación del CanSat, no realimenta ningún tipo de actuador que permita hacer correcciones de orientación y dirección sobre este; a futuro se planea investigar la implementación de este tipo de actuadores sobre el CanSat.

2.9. Comando de plataforma y manejo de datos

El control en software del CanSat se realiza desde la computadora central (NodeMCU V3 ESP8266), este subsistema permite principalmente dos tipos de

aproximación a nivel de lenguaje de programación: una desde el IDE de Arduino (Arduino 2018) (lenguaje C/C++), y la otra desde Micropython (Damien 2018).

Adicionalmente el modo de programación empleado desde un sistema cíclico temporizado por interrupciones o con la implementación de un sistema operativo en tiempo real (RTOS: real-time operating system).

Este subsistema debe encargarse de la adquisición de datos desde los sensores y las mediciones del GPS y del IMU, y de la transmisión de estos datos.

Una de las principales consideraciones a tener con el sistema del CanSat, son los tiempos de respuesta de los diferentes subsistemas de sensores, GPS e IMU. Puesto que realizar lecturas consecutivas a alta velocidad sobre un determinado sensor puede bloquear este subsistema, y sacándolo de línea temporalmente. De este hecho se desprende la importancia que el hardware de la computadora implemente los diferentes protocolos de comunicación con los subsistemas en hardware y haga uso de buffers para el registro de la información de cada uno de estos módulos, así evitando posibles pérdidas de datos. Posteriormente estos datos (información) se organizan y codifican para ser transmitidos a la estación base en tierra.

2.10. Subsistema de comunicaciones

Los principales componentes del sistema de comunicaciones son la antena y el transmisor (ubicado lo más cerca posible a la antena, para reducir las pérdidas de señal). La antena del CanSat requiere de un campo de visión claro, por ello se ubica en la parte inferior del CanSat. La antena dipolo omnidireccional de 915 MHz (frecuencia libre) que en principio garantiza la comunicación con la estación base en tierra, independiente de la orientación del CanSat.

El sistema de comunicación emplea un transmisor LoRa que es una tecnología IoT (IoT 2018) de comunicación de datos inalámbrica que usa frecuencias libres (169, 433, 868, y 915 MHz). LoRa permite transmisiones de muy largo alcance (más de 10 km en áreas rurales) con bajo consumo de energía.

2.11. Subsistema de control de potencia

Consta de dos partes principales: el controlador de potencia y la fuente de energía.

Para la fuente de energía se eligió la alimentación por baterías recargables de Litio TR 18650 (las mismas empleadas en los automóviles Tesla Model S y Model X) con un voltaje de 3.7 V y una capacidad de 4.000 mAh, y un peso de 45g cada una; lo que la hace una fuente de energía mucho más confiable que paneles solares, que para las dimensiones del CanSat aportan muy poca energía y que representan un reto respecto a su ubicación en el CanSat dejando solo dos opciones posibles: paneles flexibles en la periferia del cuerpo cilíndrico del CanSat, o paneles desplegables, que adicionan un diseño aerodinámico mucho más complejo de resolver.

Para el control de potencia se optó por un cargador de baterías de Litio-polímero 18650 de dos celdas en serie (PB- 18650-2S-3,7V) que ofrece protección contra: bajo voltaje, alto voltaje, y sobre carga; y un regulador de voltaje de 3.3V de salida y una corriente máxima de 3A (FS-V-MINI -

MP1584-), voltaje que es compatible con el voltaje de operación de todos los subsistemas del CanSat.

La fuente de energía garantiza las cuatro (4) horas mínimas de operación continuas exigidas para la competencia.

El conector para la recarga de las baterías y el interruptor de apagado y encendido del CanSat se ubican en la parte inferior de este.

2.12. Subsistema de estructuras y mecanismos

La configuración de la estructura empleada en el CanSat es similar a una jaula de ardilla (como la empleada en los motores asíncronos), con anillos intermedios que sirven de soporte: al punto de anclaje del paracaídas; al módulo GPS; al grupo de sensores; y a la computadora central, a las baterías, el control de potencia, el transmisor RF, la antena, el interruptor de encendido apagado del CanSat y al conector de recarga de las baterías.

Esta estructura está conformada por seis (6) postes verticales y cuatro (4) anillos. El anillo superior ancla el paracaídas al CanSat, los otros anillos soportan tarjetas circulares de 1,6 mm de grosor en fibra de vidrio, lo que aporta aún más a la rigidez estructural del sistema. Todos los módulos van atornillados en sus soportes y sus conexiones soldadas a estas tarjetas circulares. La conexión entre tarjetas se hace con cables y conectores de presión, para evitar que se puedan soltar durante el lanzamiento o durante el vuelo de retorno. Para la envoltura del CanSat, se usa una lata de aluminio estándar para gaseosa de 365ml, lo que hace el conjunto aún más rígido.

2.13. Subsistema paracaídas

Para el sistema de recuperación del CanSat se diseñó un paracaídas (Knacke, 1991) en forma de cruz, debido a su facilidad de fabricación y buena estabilidad de péndulo. Este paracaídas se diseña para una velocidad de descenso de 9m/s.

La conexión del paracaídas al CanSat se realiza mediante la conexión del anillo de anclaje del paracaídas a la estructura del mismo.



Fig. 4. CanSat con paracaídas en cruz desplegado.

Fuente: autores



Fig. 5. Programa estación base en tierra.

Fuente: autores

2.14. Estación base en tierra

Esta consta de tres elementos: un receptor, un computador portátil y el programa de recepción y visualización de los datos.

El receptor se comunica a la PC mediante cable USB, la conexión es serial y se trata como tal por el PC. El programa en el PC se encarga de la recepción de los datos, su visualización en forma de tablas o gráficas, y su almacenamiento para registro y posterior análisis de los datos.

3. FUNCIONES Y CARACTERÍSTICAS

- Selección y configuración del puerto serie a utilizar para la comunicación.
- Almacenamiento y recuperación de los datos (registros) recibidos desde el CanSat a archivo.
- Graficación de los datos por tipo de sensor.
- Mostrar tabla de datos de sensores.

El programa de graficación se puede implementar en Processing (Processing 2018), Octave (GNU, 2018), Java (Java, 2018), C, C++ (C 2018), o Python (Python, 2018).

Datos de: temperatura del aire, presión atmosférica, acelerómetro y giroscopio (en ejes X, Y, y Z cada uno), humedad relativa, y datos del GPS.

4. RESULTADOS

Diseño de un prototipo de CanSat para la competencia: “Reto de innovación IEEE 2018. CanSat Colombia para la paz” siguiendo las directivas de la Agencia Espacial Europea (ESA: European Space Agency) (ESA, 2017; 2015; 2018). Se obtuvo experiencia y conocimiento sobre el desarrollo de la tecnología aeroespacial, que pueda servir para su implementación en los semilleros de investigación de la Cadena de Formación Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad), con la posibilidad de realizar concursos CanSat para los estudiantes de ingeniería y sus áreas transversales; y su uso para la enseñanza de la tecnología aeroespacial.

5. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Se deja planteada la posibilidad de creación de un taller de diseño e implementación de un CanSat en un semillero de investigación de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Se plantea la necesidad de llevar los aprendizajes sobre tecnologías aeroespaciales al ámbito académico para estudiantes de ingeniería electrónica, ingeniería de telecomunicaciones, y áreas afines o transversales de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad), ya sea incluyéndola en talleres o seminarios, y de esta forma contribuir a cerrar la brecha entre ingenieros en países desarrollados y en vías de desarrollo como Colombia.

El diseño del CanSat es un desafío tecnológico, donde se articula la selección de componentes de fácil adquisición con el bajo costo.

Fue necesario desarrollar una metodología acorde con el desafío tecnológico que implique en el diseño, la implementación de carga útil. (Sistema de sensores).

Fue necesario integrar en las fases del proyecto la metodología, articulando cada uno de los módulos del proyecto.

La adecuada planificación de los tiempos y el cumplimiento de un calendario son esenciales para ejecución de pruebas y detección de errores de diseño.

Se requiere someter a pruebas todos los componentes del sistema completo, para minimizar los errores en la etapa de lanzamiento.

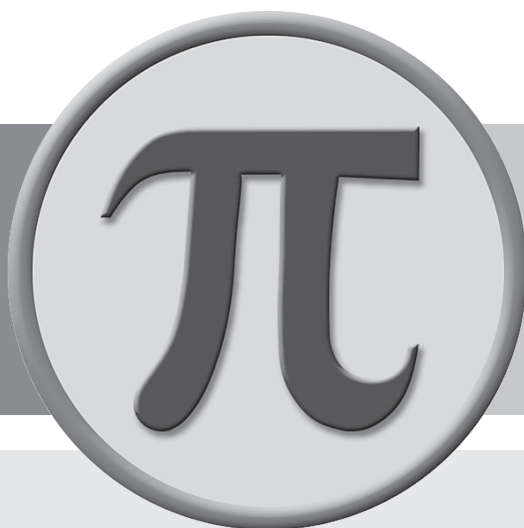
Se sugiere vincular las etapas de diseño de carga útil del CanSat, el diseño del CanSat, y el sistema de lanzamiento mediante cohete, para optimizar las labores de diseño e implementación propias del CanSat y posteriormente la ejecución de pruebas.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las ingenieras Paola Buitrago del CEAD Medellín y Paola Marmolejo del CEAD Ibagué, por el aporte que realizaron para la participación en el evento “Reto de Innovación IEEE 2018: CANSAT Colombia para la Paz”, en representación de la UNAD, de dicha participación se obtiene este artículo.

REFERENCIAS

- Arduino (2018). Arduino – Software. Recuperado en: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
- Boyarizo E. & Méndez, C. (2017). Diseño y construcción de un microsatélite (CanSat). IES. El Burgo de Las Rozas. Recuperado en: <https://docplayer.es/80152557-Diseno-y-construccion-de-un-microsatelite-cansat.html>
- Colin, A. (2018). Construcción de un picosatélite cansat. *Ciencia UANL*, 81, 9-16.
- Colin, A., Bermúdez, B., Encarnación, G., Lira G. & Zúñiga, D. (2018). Construcción de un picosatélite cansat. *Tendencias Educativas*, 81, 34-38.
- C++ (2018). C++ en: Wikipedia. Recuperado en: <https://en.wikipedia.org/wiki/C%2B%2B>
- Damien, G. (2018). MicroPython - Python for microcontrollers. Recuperado en: <https://micropython.org/>.
- ESA European Space Agency (2018). European CanSat Competition Tips for Teams. Recuperado en: https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/Tips_for_teams_2018.pdf
- ESA European Space Agency. (2017). What is a CanSat?, European Space Agency. Recuperado en: https://www.esa.int/Education/CanSat/What_is_a_CanSat. 2017
- ESA European Space Agency (2015). Choose your mission. Recuperado en: https://www.esa.int/Education/CanSat/Choose_your_mission
- Espressif (2018). ESP8266 Overview | Espressif Systems. 2018. Recuperado en: <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>
- GNU. (2018). GNU Octave. Recuperado en: <https://www.gnu.org/software/octave/>
- Internet of things. (2018). Internet of things en Wikipedia. Recuperado de: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
- Knacke, T. W. (1991). Parachute Recovery Systems Design Manual. Recuperado en: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a247666.pdf>
- Oracle (2018). Java y Tú. Recuperado en: <https://www.java.com/es/>
- Processing (2018). Welcome to Processing. Recuperado en: <https://processing.org/>
- Python. (2018). Welcome to Python. Recuperado en: <https://www.python.org/>
- Rodríguez, H. & Aparicio, L. (2016). Guía de pruebas y protocolos para el lanzamiento del satélite Colombia I. *Redes de Ingeniería*. (edición especial). 68-73.



**Revista Especializada
en Ciencia, Tecnología
e Ingeniería**

PRUEBA PILOTO PARA LA EVALUACIÓN DE MUTAG EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS

PILOT TEST FOR MUTAG EVALUATION IN TREATMENT OF WASTEWATER FROM THE HYDROCARBONS SECTOR



¹ Jenifer Giraldo Toro,
² González Rodríguez Hernando,
³ Francy Méndez Casallas

^{1,2,3}Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ingeniería,
Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia

Recibido: 04/02/2019 Aprobado 07/03/2019

RESUMEN

Las actividades productivas llevadas a cabo por las estaciones de servicios en el país son las principales generadoras de contaminación por hidrocarburos, produciendo pérdidas económicas para el proceso y daños irreparables en el medio ambiente, lo que genera un interés hacia el desarrollo de nuevas alternativas para el tratamiento de este tipo de aguas residuales de tipo industrial, no sólo para las estaciones de servicio, como directamente beneficiadas por la inclusión de estas tecnologías en su proceso de distribución, sino también para los ecosistemas que son los que reciben las descargas de estos vertimientos. El objetivo del estudio fue evaluar la viabilidad del uso del Mutag mediante una prueba piloto a escala de laboratorio usando un reactor mezcla completa tipo batch para el tratamiento de aguas provenientes del sector de hidrocarburos monitoreando fenoles, grasas y aceites como parámetros de seguimiento; la prueba consistió en un montaje con dos reactores, uno con Mutag y otro sin Mutag, la bioaumentación se realizó con los microorganismos presentes en la muestra, donde se resalta la presencia de *Pseudomonas* sp. Los porcentajes de degradación obtenidos para el reactor con Mutag fueron 32.4 %, para grasas y aceites y 23.9 % para fenoles; en el caso del reactor con Mutag los porcentajes fueron de 42 % y 67 % respectivamente, lo que fortalece la idea de un tratamiento biológico con una matriz de soporte como este biopolímero evaluado, ya que garantiza una actividad metabólica de los microorganismos y así mismo alta transferencia de masa (Bidinger, Dzedzig, Geiger, & Rauch, 2011).

Palabras claves: Tratamiento aguas residuales, degradación biológica, Mutag, Reactores lecho móvil.

¹ fmendez@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-0003-4299-6785

² hgonzalez38@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-0002-0352-5879

³ fmendez@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-0003-4299-6785

ABSTRACT

*The productive activities carried out by service stations in the country, are the main generators of hydrocarbon pollution, producing economic losses for the process and irreparable damage to the environment. This fact generates an interest in development of new alternatives for treatment of this type of industrial wastewater, not only for service stations as directly benefited by inclusion of these technologies in their process of distribution, but also for the ecosystems that receive the downloads of these discharges. The objective of the study was to evaluate the feasibility of using the Mutag through a laboratory-scale pilot test, using a batch-type full mix reactor for the treatment of water from the hydrocarbons sector by monitoring phenols, fats and oils as follow-up parameters; the evidence consisted in an assembly with two reactors, one with Mutag and another without Mutag; bioaugmentation was performed with the microorganisms present in the sample, where the presence of *Pseudomonas* sp is highlighted. Degradation rates obtained for the Mutag reactor were 32.4% for fats and oils and 23.9 % for phenols; in the case of the reactor without Mutag the percentages were 42% and 67% respectively, which strengthens the idea of a biological treatment with a support matrix such as this evaluated biopolymer, as it guarantees a metabolic activity of microorganisms and also high mass transfer (Bidinger, Dzedzig, Geiger, & Rauch, 2011).*

Keywords: biological degradation, mobile bed reactors, mutag, wastewater treatment.



1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la contaminación del recurso hídrico, ocasionado por el sector de hidrocarburos, es significativa para los ecosistemas, debido a la dificultad que existe para la degradación de los contaminantes que se originan debido a estas actividades productivas (Larrea Urcola, Abad Alba, Larrea Urcola & Zalakain Bengoa, 2004). Hay consecuencias ambientales que se desencadenan debido a la inexistencia de tecnologías que permitan el adecuado tratamiento de las aguas residuales de tipo industrial (Bassin, J. P., Dias, I.N., Cao, S. M. S., Senra, E., Laranjeira, Y. & Dezotti, M. (2016)) algunas de ellas ocasionadas por cambios en las dinámicas de las poblaciones de fauna y los microorganismos presentes en el agua contaminada (Nguyen D.T. & Nguyen T.P. (2018) (Pucci, G., Acuña, A., Tonin, N., Tiedemann, M. & Pucci, (2010). Dentro de los procesos biológicos que pueden ser aplicados para el tratamiento de este tipo de aguas, se resaltan los procesos aerobios y anaerobios, debido a que son ampliamente utilizados en diferentes plantas de tratamiento alrededor del mundo (Bengston, 2017) (Zupanc, M.,

Kosjek, T., Petkovšek, M., Dulard, M., Kompare, B., Širok, B., Blažeka, Z. & Heath, E. (2013)..) Dentro de cada grupo hay, además, diferentes tipos, dependiendo si el proceso de crecimiento biológico (Quan, T. H., Gogina, E. & Quang, T. V. (2018) es suspendido, adherido a una superficie o combinado (Nguyen D.T. & Nguyen T.P. (2018) El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante la actividad biológica (Nguyen D.T. & Nguyen T.P. (2018). Esta se aprovecha principalmente para remover sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual mediante la conversión en gases y en biomasa extraíble mediante sedimentación (Romeiro, 2010). Los tratamientos biológicos aerobios son procesos en los cuales los microorganismos realizan la oxidación de contaminantes utilizando oxígeno. Normalmente las bacterias son los microorganismos más importantes en el tratamiento aerobio y son excelentes degradadores de materia orgánica (Alba Torres, N. & Araujo Estrada, F. L. (2008)) (Bidinger, S. C., Dzedzig, B., Geiger, M. & Rauch, B. (2010)).

La degradación biológica aerobia está constituida por reacciones de oxidación biológica en las cuales el oxígeno es la fuente de energía necesaria para el crecimiento microbiano y el proceso anaerobio o fermentación se puede definir como la existencia de vida en ausencia de oxígeno (Romero, 2010).

Las grasas y aceites, debido a su composición y distribución en la superficie del agua impiden la oxigenación debido a que obstaculizan el contacto entre el aire y el agua (Jiménez, S. (2012) lo que disminuye el oxígeno disuelto y por el contrario incrementan la radiación solar que es absorbida por este medio, generando afectaciones en la actividad fotosintética de los ecosistemas acuáticos; esto ocasiona alteraciones en los procesos biológicos que se desarrollan en el agua (Alba Torres, N. & Araujo Estrada, F. L. (2008)) . Las formaciones de capas de aceites en la superficie del agua, generan la destrucción de algas y plancton.

Además de ello, los aceites y grasas pueden tener un efecto tóxico sobre estos ecosistemas, afectando la fauna y flora acuática. El objetivo del presente estudio consistió en la evaluación del uso del Mutag (Bidinger, S. C., Dzedzig, B., Geiger, M. & Rauch, B. (2010) mediante una prueba piloto a escala de laboratorio, usando un reactor mezcla completa tipo batch para el tratamiento de aguas provenientes del sector de hidrocarburos, partiendo del aislamiento y caracterización de microorganismos presentes, actividad degradadora para aguas residuales y mediante un proceso de bioaumentación evaluar la eficiencia del uso del Mutag como medio inmovilizador (MacQuarrie, J. P., & Boltz, J. P. (2011) en la degradación de fenoles, grasas y aceites como parámetros indicadores de carga contaminante en el agua.

2. METODOLOGÍA

2.1 Aislamiento y caracterización de microorganismos con potencial actividad degradadora

Para el aislamiento de microorganismos se realizó inicialmente bioaumentación, colocando 50mL

de muestra en 450 mL de agua peptonada, posteriormente se colocó en un agitador orbital termostatado a 37° C y 120 rpm durante 7 días; posteriormente se realizó la siembra de los microorganismos en agar nutritivo, en diluciones de 10^{-1} hasta 10^{-7} incubando a 37° C durante 24 horas y luego recuento de mesófilos totales. Para la caracterización bacteriológica se usaron pruebas bioquímicas y medios de cultivo selectivos y diferenciales (Encinas, A., 2014.).

2.2. Prueba piloto evaluación de la eficiencia del Mutag como alternativa de tratamiento para la degradación de fenoles, grasas y aceites

Los dos reactores, con Mutag (Geiger, M. (2017)) y sin Mutag fueron montados con aguas residuales provenientes de una estación de servicio posterior a la bioaumentación. El volumen efectivo de trabajo fue de 2 L en cada caso, se colocaron en agitador termostatado durante 7 días a 120 rpm y a 37°C. Adicionalmente se tomaron 5 frascos schoot para el monitoreo de grasas y aceites y 5 tubos falcon de 50ml para el monitoreo de fenoles y la medición de densidad óptica para evaluar el crecimiento de los microorganismos en cada monitoreo. El monitoreo se realizó durante 7 días. Para el caso del reactor con Mutag se agregó 15 % de Mutag, el 30 % de inóculo y el 70 % de muestra de agua residual. El oxígeno requerido para el desarrollo adecuado de los microorganismos osciló entre 2 y 3 mg/L. Se realizó el monitoreo del reactor durante 7 días para los parámetros de fenoles, grasas y aceites.

3. RESULTADOS

El agua residual fue tomada después de la trampa de grasas de una estación de servicio; la muestra fue trasladada al Centro Tecnológico de Ambiente y Sostenibilidad (CTAS) de la Universidad de La Salle, donde se realizaron las pruebas de caracterización de los parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015.

TABLA 1.

Caracterización inicial de la muestra de agua residual
proveniente de la estación de servicio

Parámetro	Resultados
Grasas y aceites	141 Mg/l
Fenoles	17 Mg/l
Dbo	486 Mg/l
Dqo	1177 Mg/l
Nitrógeno total	17 Mg/l
Fósforo	1,79 Mg/l
pH	7,47

Fuente: autores

El resultado de mesófilos totales tras 2 semanas de bioaumentación fue de 21×10^8 UFC/mL.

3.1. Aislamiento y caracterización

Se caracterizaron *Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli* y *Raoultella ornithinolytica*. El primer género está ampliamente reportado como microorganismo degradador de hidrocarburos, el segundo es indicador de calidad de aguas y el último tiene relación directa con la presencia de roedores.

3.2. Prueba piloto evaluación de la eficiencia del Mutag como alternativa de tratamiento para la degradación de fenoles, grasas y aceites

La obtención de la eficiencia de remoción de los microorganismos presentes en el agua residual, se realizó mediante medición diaria de los parámetros de interés del presente proyecto (fenoles, grasas y aceites) (Gil, M. (2019), por un tiempo de 7 días. Los resultados de las tablas 2 y 3 corresponden al reactor sin Mutag.

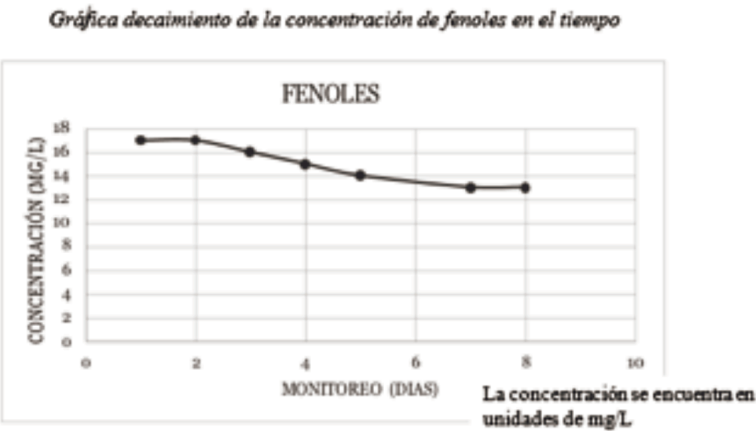
TABLA 2.

Resultados monitoreo parámetros fenoles,
grasas y aceites reactor sin mutag

Monitoreo	Fenoles	Grasas y aceites
1	17 mg/L	141 mg/L
2	17 mg/L	136 mg/L
3	16 mg/L	121,8 mg/L
4	15 mg/L	110 mg/L
5	14 mg/L	100,5 mg/L
6	13 mg/L	98,3 mg/L
7	13 mg/L	95,3 mg/L

Fuente: autores

La siguiente figura muestra los resultados de remoción de fenoles en el reactor sin Mutag y se evidencia un decaimiento desde el día 2.

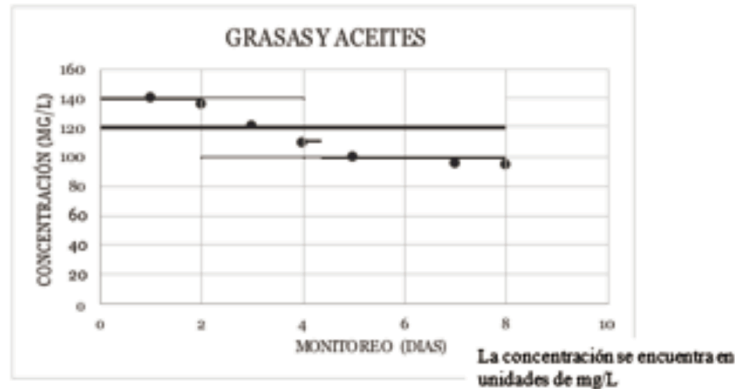


Fuente: autores

Fig. 1. Fenoles

Para el caso de las grasas y aceites se observa una disminución a partir del día 2 donde la concentración de grasas

y aceites es cercana a 130 mg/L. El valor de remoción para fenoles fue de 23,5% y 32,4% para grasas y aceites.



Fuente: autores

Fig. 2. Grasas y aceites

Para el caso de reactor con Mutag se observan los siguientes resultados para el monitoreo de fenoles y grasas y aceites.

TABLA 3

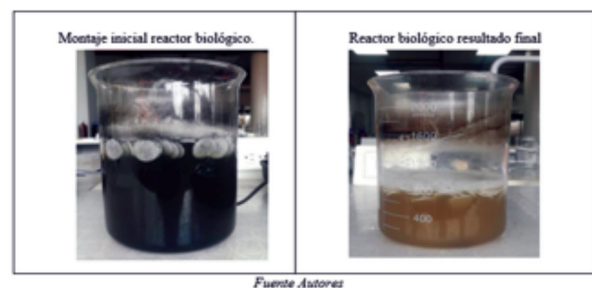
Resultados monitoreo parámetros fenoles, grasas y aceites reactor con mutag

Monitoreo	Fenoles	Grasas y aceites
1	17 mg/L	141 mg/L
2	17 mg/L	121 mg/L
3	16 mg/L	90,5 mg/L
4	15 mg/L	82,5 mg/L
5	14 mg/L	73,3 mg/L
6	13 mg/L	64 mg/L
7	13 mg/L	54,8 mg/L

Fuente: autores

Las imágenes permiten visualizar el día inicial y final del tratamiento en el reactor con Mutag.

Los porcentajes de degradación de fenoles fue del 42 % y 67 % para grasas y aceites lo que permite afirmar que la utilización del Mutag como medio de soporte aumenta el porcentaje de degradación biológica (Gil, M. (2019) de los dos parámetros seleccionados para el monitoreo durante el presente estudio.



Fuente: Autores

Fig. 3. Montaje inicial y final del reactor biológico

La siguiente figura muestra el decaimiento en la concentración de fenoles a partir del día 2 con un valor óptimo de degradación en el día 6.

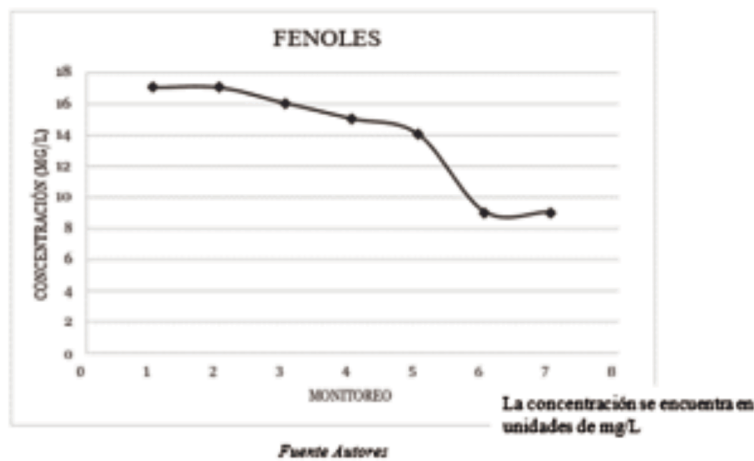


Fig. 4. Fenoles

Gráfica decaimiento de la concentración de fenoles en el tiempo

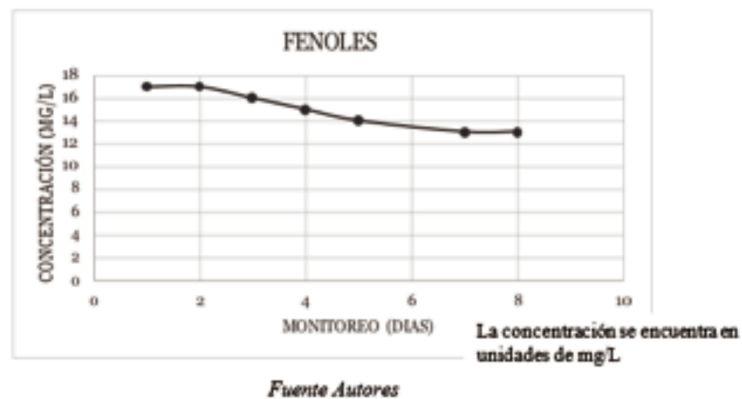


Fig. 5. Decaimiento de fenoles en el tiempo

Para el caso de las grasas y aceites la degradación es significativa a partir del día 2.

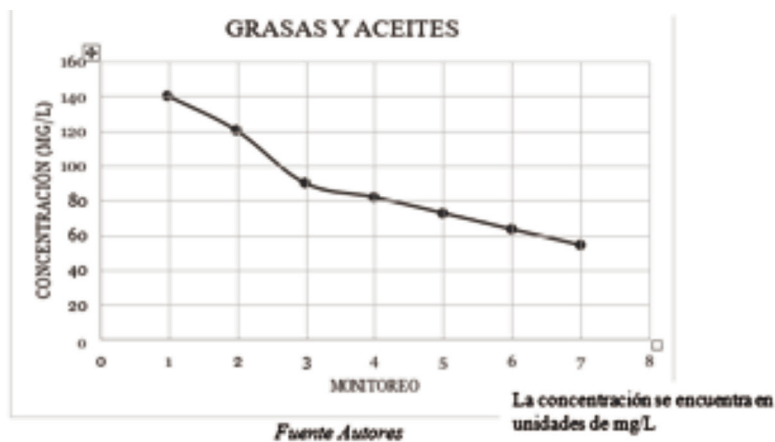


Fig. 6. Grasas y aceites

Las siguientes figuras permiten comparar los porcentajes obtenidos en el sistema con Mutag y sin Mutag frente a los parámetros escogidos para el monitoreo.

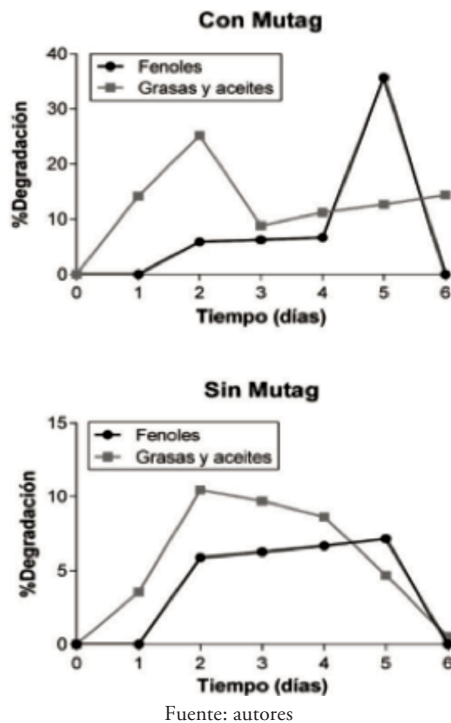


Fig. 7. Con Mutag sin Mutag

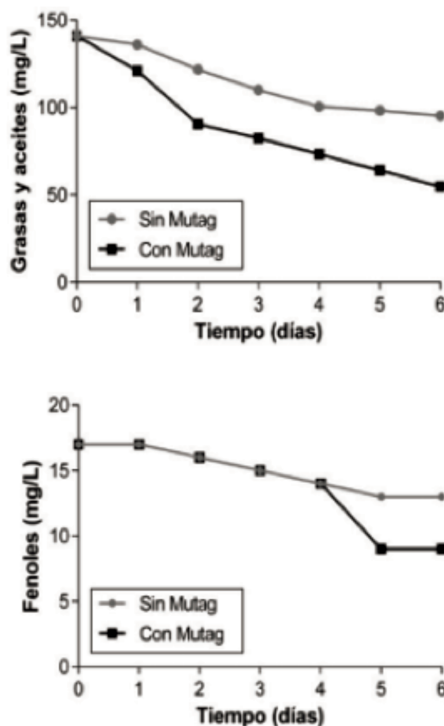


Fig. 8. Grasas, acetes y fenoles con Mutag y sin Mutag

En el caso de los resultados observados para el reactor con Mutag los porcentajes de degradación son más altos para fenoles, grasas y aceites (Castro Varela, G. (2007). El reactor con Mutag presentó dos veces mayor eficiencia de remoción de los contaminantes de interés que el reactor sin Mutag.

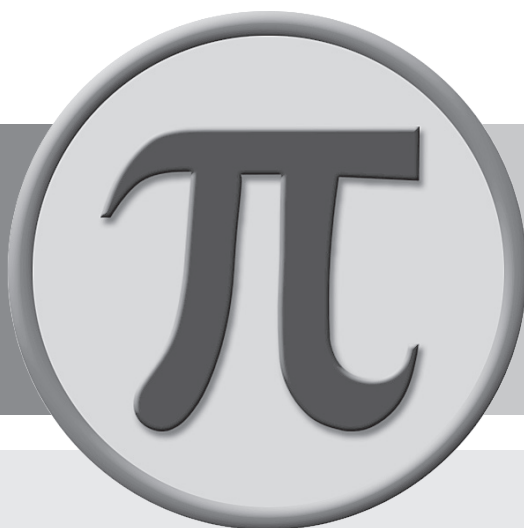
El resultado de la prueba piloto indica que el reactor biológico de mezcla completa (García F. & Gutiérrez, D. (2018)), utilizando Mutag como alternativa de tratamiento primario, es una alternativa biológicamente interesante. pero que requiere un tratamiento previo (MacQuarrie, J. P., & Boltz, J. P. (2011) que garantice una reducción de los sólidos suspendidos; esto puede lograrse al mejorar el diseño de la trampa de grasas (Gil, M. (2019). así como también un mejor control de vectores como los relacionados con la presencia de *Raoultella ornithinolytica*, bacteria de importancia clínica (Rodríguez-Heredia, D. & Santana-Gómez, M. (2017)) que probablemente exista en una red de conducción de agua residual de tipo industrial errada que recoge el agua de las bahías de servicio y por ende, una contribución de aguas residuales adicionales al caudal para el que fue diseñado el sistema.

CONCLUSIONES

El tratamiento biológico secundario para aguas residuales provenientes de la estación de servicio, no cumplió con los valores establecidos en la reglamentación vigente, lo que hace necesario buscar alternativas biológicas que disminuyan las cargas contaminantes; sin embargo, a pesar de los porcentajes de degradación biológica obtenidos en el presente estudio, los porcentajes si son más altos de los obtenidos por métodos químicos o físicos. El aislamiento de *Pseudomonas* genera una perspectiva muy interesante para su uso como degradador biológico en este tipo de aguas, y, el aumento de la biomasa bacteriana de esta bacteria se ve favorecida bajo el ambiente establecido en el reactor, debido a que los desechos orgánicos tienden a incrementar su reproducción (Orozco, 2014).

REFERENCIAS

- Alba Torres, N. & Araujo Estrada, F. L. (2008). Evaluación de los desinfectantes utilizados en el proceso de limpieza y desinfección del área de fitoterapéuticos en laboratorios Pronabell Ltda. Tesis de grado, Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana: Bogotá.
- Bassin, J. P., Dias, I.N., Cao, S. M. S., Senra, E., Laranjeira, Y. & Dezotti, M. (2016). Effect of increasing organic loading rates on the performance of moving-bed biofilm reactors filled with different support media: Assessing the activity of suspended and attached biomass fractions. *Process Safety and Environmental Protection*, 100, 131-141.
- Bengston, H. (2017). *Biological Wastewater Treatment Process Design Calculation* (2 ed.). Illinois: Independently published
- Bidinger, S. C., Dziedzic, B., Geiger, M., & Rauch, B. (2011). Culture media: New carrier aids biological sewage water treatment. *Filtration and Separation*, 48(3), 28-30. DOI:10.1016/S0015-1882(11)70119-7
- Bidinger, S. C., Dziedzic, B., Geiger, M. & Rauch, B. (2010). The mutag BioChip™, the support material for the biological wastewater treatment. [Der Mutag BioChip™, das Trägermaterial für die Biologische Abwasserreinigung] *GWF, Wasser - Abwasser*, 151(9), 810-813.
- Castro Varela, G. (2007). Informe final. Diseño monitoreo frente derrames de hidrocarburos. Quillota: Gobierno de Chile / Prasa. Recuperado de: https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/INFORME_FINAL_ASESORIA_SAG_HCS2.pdf
- Chip, M. B. (2015). CHIP-tuning for biological wastewater treatment plants. *Filtration and Separation*, 52(1), 15-17. DOI:10.1016/S0015-1882(15)30034-3
- Encinas, A. (2014, junio). Instrucciones de uso - medios en placa listos para usar bd macconkey ii agar uso previsto. Recuperado de: https://www.academia.edu/37740638/instrucciones_de_uso_medios_en_placa_listos_para_usar_bd_macconkey_ii_agar_uso_previsto
- García F. & Gutiérrez, D. (2018). Diseño y operación de un reactor de lecho móvil aerobio para tratamiento de agua residual doméstica. Facultad de Ingeniería, tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada: Bogotá. Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18000/GarciaNathalia%20Guti%C3%A9rrezDaniela%202018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Geiger, M. (2017). Stable ANAMMOX process through mutag BioChip 25™ biofilm technology. [Stabiler ANAMMOX-Prozess durch Mutag BioChip 25™-Biofilntechnologie] *GWF, Wasser - Abwasser*, 158(3), 79-80.
- Jiménez, S. (2012). Estudio teórico para el control de la contaminación por grasas y aceites generada por la actividad industrial, doméstica y de servicios. Tesis de grado, Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas. Instituto Politécnico Nacional: México D.F. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/18479/1/25-1-16898.pdf>
- Larrea Urcola, L., Abad Alba, A., Larrea Urcola, A. & Zalakain Bengoa, G. (2004). Ventajas y aplicaciones de la tecnología de lecho móvil en aguas residuales urbanas e industriales. *Tecnología del agua*, 24(255), 30-37.
- MacQuarrie, J. P., & Boltz, J. P. (2011). Moving Bed Biofilm Reactor Technology: Process Applications, Design, and performance. *Water Environment Research*, 83(6), 560-575.
- Muri, P., Marinšek-Logar, R., Djinović, P., & Pintar, A. (2018). Influence of support materials on continuous hydrogen production in anaerobic packed-bed reactor with immobilized hydrogen producing bacteria at acidic conditions. *Enzyme and Microbial Technology*, 111, 87-96. DOI: 10.1016/j.enzmictec.2017.10.008
- Nguyen D.T. & Nguyen T.P. (2018) Treatment of Slaughterhouse Wastewater by Intermittent Cycle Extended Aeration System (ICEAS). In: Tran-Nguyen, H. H., Wong, H., Ragueneau, F., Ha-Minh, C. (Eds.). *Proceedings of the 4th Congrès International de Géotechnique - Ouvrages - Structures*. CIGOS 2017. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 8. Singapore: Springer. DOI: 10.1007/978-981-10-6713-6_108
- Orozco Jaramillo, A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales*. Bogotá: Acodal.
- Pucci, G., Acuña, A., Tonin, N., Tiedemann, M. & Pucci, O. (2010). Diversidad de bacterias cultivables con capacidad de degradar hidrocarburos de la playa de Caleta Córdova, Argentina. *Revista Peruana de Biología*, 17(2): 237 - 244 Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v17n2/a15v17n2.pdf>
- Quan, T. H., Gogina, E. & Quang, T. V. (2018). The biological treatment of laboratory SBR model with biofilm. *MATEC Web of Conferences*, 251, Recuperado de: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/110/mateconf_ipicse2018_03029/mateconf_ipicse2018_03029.html
- Rodríguez-Heredia, D. & Santana-Gómez, M. (2017). Evaluación de la contaminación por grasas y aceites en balnearios de la Bahía de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 37(2), 339-348. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852017000200014&lng=es&nrm=iso
- Romero, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Zupanc, M., Kosjek, T., Petkovšek, M., Dulard, M., Kompare, B., Širok, B., Blažeka, Z. & Heath, E. (2013). Removal of pharmaceuticals from wastewater by biological processes, hydrodynamic cavitation and UV treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(4), 1104-1112. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2012.12.003



**Revista Especializada
en Tecnología
e Ingeniería**

CONVERTIDOR DC-AC DE ALTA EFICIENCIA BASADO EN EL MODULADOR EG8010 PARA IMPLEMENTAR EN SISTEMAS ENERGÉTICOS ALTERNATIVOS

HIGH-EFFICIENCY DC-AC CONVERTER BASED ON EG8010 MODULATOR TO IMPLEMENT IN ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS



¹Jairo Gutiérrez

²Luz Flórez

³Daniel Serrano

^{1,2,3} Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería,
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bogotá, Colombia.

Recibido: 10/10/2018 • Aprobado: 06/11/2018

RESUMEN

Este documento presenta los resultados del diseño y la implementación de un convertidor DC-AC con salida sinusoidal de baja distorsión armónica y pérdida de potencia eléctrica por conmutación. La investigación se encaminó al logro de altos niveles de rendimiento a bajo costo, creando un equipo competitivo en el mercado. El convertidor DC-AC es el procesador de la energía captada; es así como las mejoras en la eficiencia apuntan a elevar la viabilidad y sostenibilidad de sistemas energéticos alternativos por la disminución en costos de producción e impactar positivamente sobre la crisis energética - ambiental de la actualidad, debido al agotamiento de los combustibles fósiles y a las emisiones descontroladas de gases producidos por los sistemas tradicionales de energía eléctrica.

Palabras clave: armónicos, eficiencia, energía, inversor, SPWM, potencia.

ABSTRACT

This document shows a design and implementation of a DC-AC converter with sinusoidal output of low harmonic distortion and loss of electrical power by switching. The main goal of this research was achieving high levels of performance at low cost, being a competitive product on the market. The DC-AC converter is the captured-energy processor. That is why the efficiency improvements aims to increase the viability and sustainability of alternative energy systems, because of decreasing production costs and positively impacting on actual energetic and environmental crisis, due to depletion of fossil fuels and uncontrolled greenhouse gas emissions produced by traditional systems of energy generation.

Keywords: efficiency, energy, harmonic, inverter, power. spwm.

¹Jairol.gutierrez@unad.edu.co, orcid.org/0000-0002-3369-28-03

²luz.florez@unad.edu.co, orcid.org/0000-0002-4460-2316

³Daniel.serrano@unad.edu.co, orcid.org/0000-0001-9438-3361

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se han propuesto y desarrollado sistemas alternativos para la generación de energía eléctrica, por el agotamiento, dependencia y constante incremento en el costo de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) (Arango & Arroyave 2016; Valles, Acosta & Pérez 2014). El uso de estos combustibles, por ejemplo en termoeléctricas, provoca un impacto negativo sobre el medio ambiente debido a los gases como el dióxido de azufre (SO₂) y el dióxido de carbono (CO₂) originados en las combustiones (Oswald 2017 & Aguilera 2016).

La emisión de estos gases de manera descontrolada ha provocado daños medioambientales como la lluvia ácida y el calentamiento global (Maldonado & Torres 2011). Los sistemas energéticos alternativos basados en energías renovables como la solar, eólica, mareomotriz, biomasa, entre otras son la respuesta a la crisis energética que afecta al planeta. Destacando que la energía solar y eólica son las más limpias en su uso porque no contaminan el medio ambiente.

Los sistemas de producción de energía basados en energías renovables son inagotables, no emiten gases de efecto invernadero ni gases contaminantes (Hidalgo 2015). Pero no todo es fácil con la implementación de estos sistemas, pues se presenta siempre el reto de obtener la mayor eficiencia en la captación, procesamiento y consumo de la electricidad; lo anterior ha despertado el interés de gobiernos, empresas y en específico de ingenieros e investigadores.

Al hablar de eficiencia en sistemas energéticos alternativos es inevitable no pensar en el módulo principal, el “Convertidor DC-AC”. Estos son dispositivos que permiten transformar la energía de corriente directa (DC) captada, por ejemplo, de paneles solares o la entregada por circuitos rectificadores de aerogeneradores en corriente alterna (AC) (Conde 2013), que es la forma de energía útil para ser transportada y utilizada en la alimentación de la mayoría de equipos eléctricos y electrónicos tanto en el hogar como en la industria.

El precio de los convertidores, en el mercado actual, depende de factores como la eficiencia los algoritmos y materiales usados en su fabricación y de la calidad de la energía procesada, por lo general los más económicos no entregan el tipo de señal adecuada para el buen funcionamiento de electrodomésticos y equipos industriales, sino un tipo de señal con mucha distorsión armónica que deteriora la vida útil de estos.

Los convertidores más económicos son los de onda cuadrada y onda modificada, sin embargo, en términos de eficiencia lo cual se traduce en realizar la conversión de energía DC – AC con nulas o mínimas pérdidas, la respuesta de estos inversores es bastante baja debido a la alta distorsión armónica que los caracteriza. Es necesario mencionar que los armónicos distorsionan la forma de onda de salida, elevan la temperatura de los dispositivos semiconductores y generan pérdidas de potencia en la conmutación (Petropol & Petropol 2016). Las altas frecuencias de los armónicos en señales distorsionadas producen interferencias electromagnéticas que afectan negativamente el funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones, en transformadores calientan el bobinado, aumentan la impedancia de fuente y producen pérdidas debidas a las corrientes de Foucault. La circulación de corrientes armónicas por los devanados de motores provoca calentamientos en los mismos y daños en el aislamiento térmico de sus arrollamientos (Magallán, De Angelo & García 2009).

Es una premisa entonces, afirmar que la presencia elevada de distorsión armónica en la señal de salida de un convertidor DC – AC, es el principal motivo que lo hace ineficiente por estar alejado del criterio ideal de funcionamiento, que es transformar una entrada DC en una salida AC pura sin pérdidas de energía en el proceso, y es lo que justifica que los inversores más costosos sean los de onda sinusoidal pura, pues estos entregan mayor eficiencia en el manejo de la potencia y bajos niveles de distorsión armónica, alargando la vida útil de las máquinas eléctricas mayormente utilizadas en la industria.

Por todo lo anterior, El objetivo del proyecto fue el diseño e implementación de un convertidor DC-AC de alta eficiencia y bajo costo empleando una técnica moderna de modulación y transistores de potencia Mosfet de alta velocidad para lograr mínimas pérdidas de potencia eléctrica por conmutación y bajos niveles de distorsión armónica en la onda sinusoidal de salida (Haider et al. 2012).

2. DESARROLLO DE CONTENIDO

Los convertidores DC-AC se llaman inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada DC a un voltaje simétrico de salida AC, con la magnitud y frecuencias deseadas (Aguilar, Vázquez & Gordillo 2017). En la siguiente Fig. 1 se observa el diagrama de bloques de un inversor modulado.

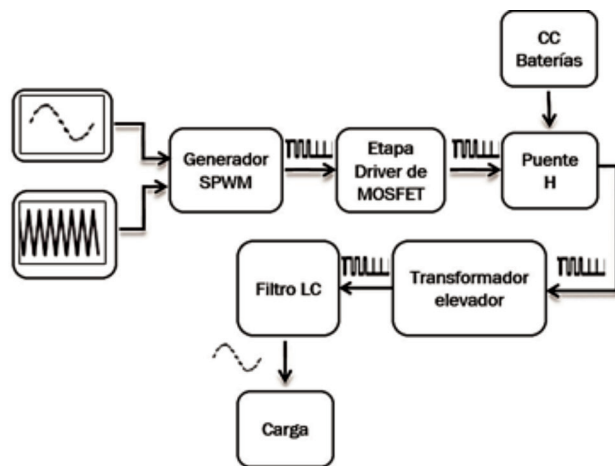


Fig. 1 Diagrama de bloques de un convertidor DC-AC.

Fuente: autores

El bloque principal de un inversor modulado es el generador Spwm. En este se compara una onda sinusoidal de 60Hz (señal de referencia) con una forma de onda triangular de frecuencia más alta (portadora), de tal manera que el ciclo de trabajo de la señal resultante, cambie con respecto a la variación de la amplitud de la señal de referencia conservando la frecuencia de la portadora. A este tipo de señal se le conoce como modulación de ancho de pulso sinusoidal (Spwm). En la práctica se utilizan circuitos analógicos o digitales como lo son amplificadores operacionales y microcontroladores

para lograr tal fin. La señal Spwm en primera instancia es de baja intensidad y es necesario amplificarla, por ello se utiliza la etapa driver cuya función es adecuar los niveles de tensión y corriente necesarios para controlar la etapa de potencia, siendo en esta última donde se lleva a cabo la transformación de la energía de corriente directa DC almacenada en bancos de baterías o captada directamente por módulos fotovoltaicos a corriente alterna AC, usando una topología de puente H con semiconductores de estado sólido (Mosfet o Igbt) especiales para manipular elevados niveles de tensión o corriente, presentar mínima resistencia en estado ON, elevada en estado OFF, soporte de alta velocidad de suicheo y temperaturas en el que el control de la conmutación se realiza gracias a la señal modulada (Rashid 2004).

La energía de salida de la etapa de potencia no es sinusoidal puesto que contiene un elevado nivel de distorsión armónica, sin embargo, esta señal ya es útil para alimentar el transformador en el cual se puede elevar el nivel de la tensión de entrada a una de salida entre 120 o 220 VAC rms. Finalmente, es necesario extraer la onda sinusoidal que fue modulada y eliminar toda la distorsión armónica generada en el proceso de conversión y para ello se utiliza un filtro pasabaja LC resonante a una frecuencia calculada para mantener la señal de referencia y suprimir cualquier contenido de alta frecuencia.

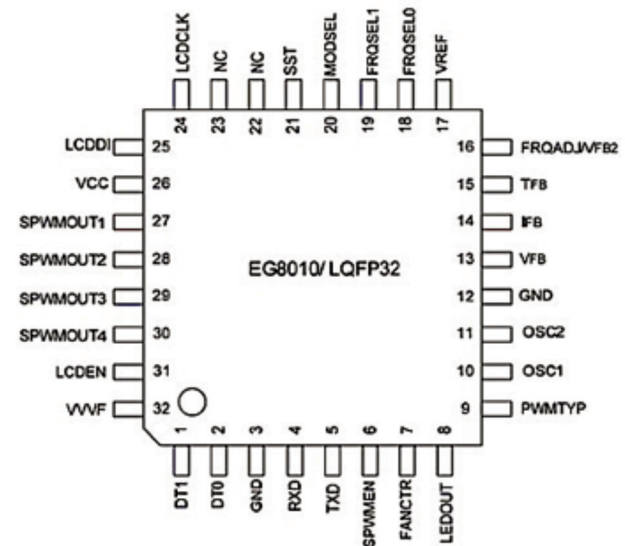


Fig. 2 Distribución de pines del IC EG8010 (Petropol, G & Petropol, 2016)

3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Al considerar el diseño de un convertidor eficiente se debe tener como referente en la investigación sus características ideales y en este caso en particular, se define un inversor ideal como aquel que realiza la conversión de energía DC-AC sin pérdidas de potencia entregando a la salida una onda seno pura (sin distorsión armónica). Sin embargo, en la práctica no existe el convertidor ideal y siempre se presentarán pérdidas al realizar la conversión de energía (Fazal et al. 2017). Las investigaciones en el área de los convertidores en general, se encaminan al logro de altos niveles de eficiencia siendo lo anterior el propósito de esta investigación.

Se presentan a continuación las características técnicas de cada bloque que conforma el sistema en contraste con las propiedades ideales.

3.1. Generador Spwm

La forma de onda de salida de un inversor ideal debe ser sinusoidal. Hoy en día con la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, se pueden minimizar los contenidos de armónicas y regular el voltaje de salida mediante técnicas de conmutación (Muñoz et al. 2016). La técnica Spwm hace variar el ancho de cada pulso en proporción con la amplitud de una onda sinusoidal

evaluada en el centro del mismo punto. El generador Spwm define la forma, calidad, y regulación de la onda de salida. Como generador Spwm se utilizó el modulador digital EG8010, el cual es un circuito integrado de propósito específico que se encuentra en el mercado a bajo costo brindando soporte para los siguientes ajustes:

- Tipo de modulación
- Tiempo muerto
- Frecuencia fundamental (onda sinusoidal)

El EG8010 cuenta con una frecuencia fija de conmutación de 23.5 KHz, acción de regulación de tensión y corriente de salida, protección contra alta temperatura, alto y bajo voltaje y contra cortocircuito (López et al. 2007).

Luego del estudio de los tipos de modulación Spwm, se determinó que la modulación unipolar era la adecuada para obtener altos niveles de eficiencia en el convertidor, en contraste con la modulación bipolar que contiene más componentes de energía no deseada distribuidas en el espectro. Como se puede observar en Fig. 3 no hay técnica de modulación perfecta y siempre se presentará algún porcentaje de distorsión armónica, sin embargo, este puede llegar a ser casi nulo usando la técnica de modulación seleccionada.

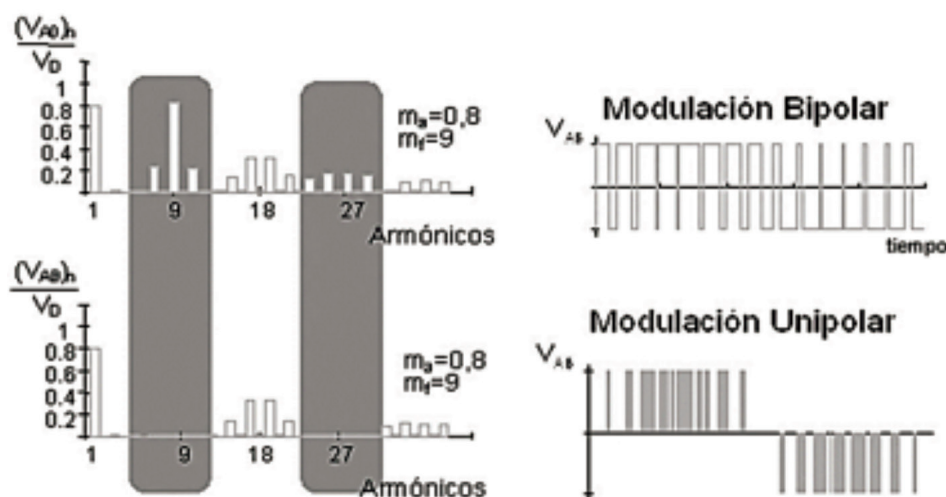


Fig. 3 Contraste modulación Spwm bipolar y unipolar (Díaz 2015)

Con la técnica de conmutación unipolar el contenido de componentes armónicas es óptimo bajo dos condiciones:

- Que el índice de modulación de frecuencia (mf) sea un valor entero par.
- La modulación sea sinusoidal sincrónica (Sun et al. 2016).

Ajustando el diseño a las anteriores condiciones y con un índice de modulación de amplitud entre 0,5 y 0,8 se experimentó el logro de bajos niveles en la carga de distorsión armónica total DTH normalizada a un 3%.

En Fig. 4 se puede apreciar el resultado de la simulación que fue realizada utilizando Proteus con el cual se emulo un generador SPWM conformado por 2 ondas sinusoidales desfasadas 180° y una onda triangular las cuales fueron comparadas con un circuito amplificador operacional. Se realizaron pruebas utilizando los ajustes mencionados donde la corriente se aproxima a una onda sinusoidal aun cuando no se ha filtrado.

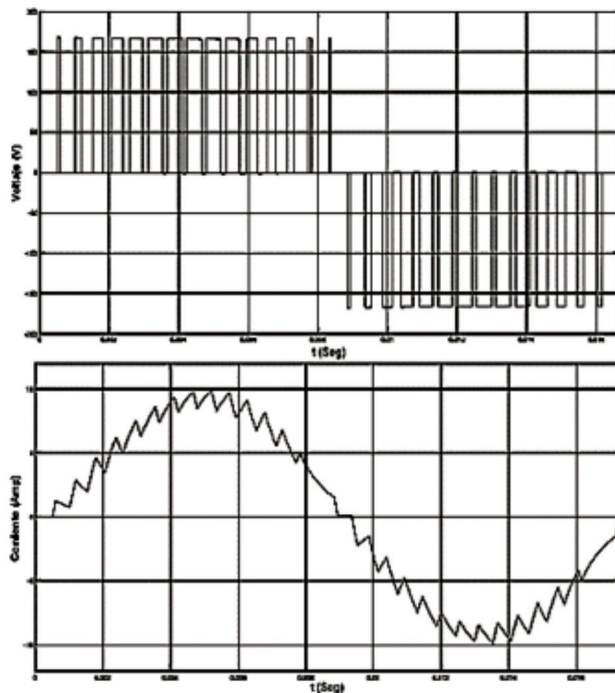


Fig. 4 Formas de ondas de tensión y corriente modulación unipolar

Fuente: autores

3.2. Etapa driver

Para la correcta activación y desactivación de un semiconductor de potencia, es necesario diseñar un circuito capaz de garantizar los niveles adecuados de tensión y corriente de disparo en periodos de tiempo del orden de los microsegundos, dicha exigencia la satisface el circuito integrado driver IR2110, de la compañía International Rectifier (IR). Las entradas lógicas del IR2110 son compatibles con señales Cmos o Lsttl (Ballester & Piqué 2001) y cuenta con fuente flotante necesaria para polarizar los semiconductores de potencia del lado alto en la topología H, a tensiones de hasta 500 V y tensiones de disparo entre 10 y 20V.

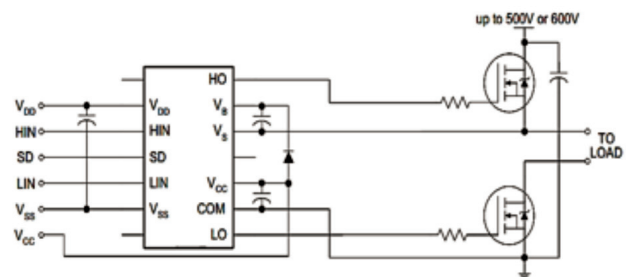


Fig. 5 Conexión típica del driver IR2110

Fuente: ("IR2110 Datasheets"2005)

3.3. Etapa de Potencia

Para la etapa de potencia se utilizó una topología de puente completo H con el Mosfet de última generación Irfp2907 capaz de soportar corrientes de hasta $IDSS = 209A$ y tensión máxima $VDS = 75V$ presentando una resistencia en el canal de tan solo $4,5 m\Omega$ en estado de conducción.

La topología puente completo emplea cuatro interruptores como se observa en la Fig. 6. La dinámica de disparo se ha dispuesto de la siguiente manera, la rama izquierda del puente conmutará a una frecuencia de 60Hz (S1 y S2), es decir, la frecuencia de la señal moduladora; mientras que la rama de la parte derecha (S3 y S4) lo hará a una frecuencia de 23.5 KHz que es la frecuencia de la portadora y así obtener un balance que propenda a la eficiencia considerando la premisa «A mayor frecuencia de conmutación mayores pérdidas pero más pequeño y económico es el filtro para eliminar los armónicos».

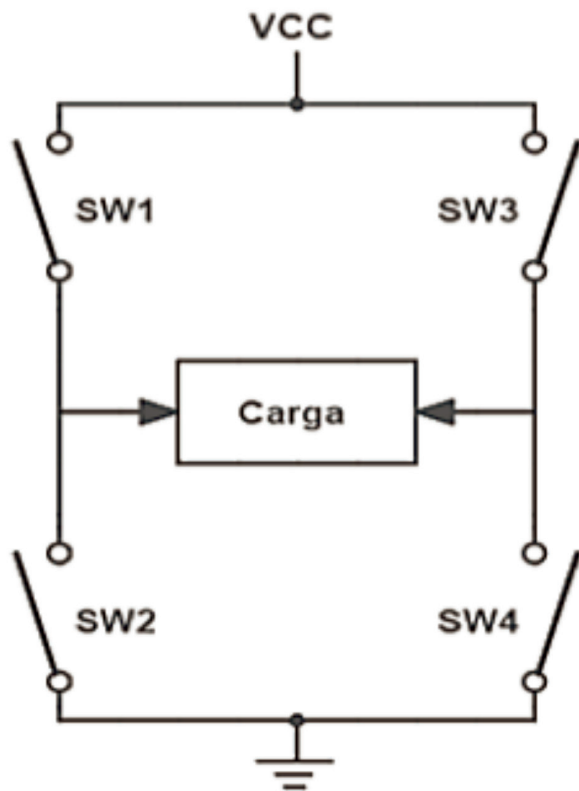


Fig. 6 Topología de puente completo H
Fuente: autores

3.4. Transformador elevador

Un transformador relaciona dos circuitos con tensiones diferentes permitiendo aislamiento galvánico y la transmisión de energía a una potencia constante.

El principio ideal de funcionamiento de un transformador es la inducción de voltaje entre dos bobinados acoplados magnéticamente sin que se presenten pérdidas, sin embargo, ninguna máquina eléctrica es ideal y siempre se presentarán pérdidas al realizar un trabajo. En esta etapa se estudió el rendimiento de los tipos de transformadores y se encontró que el transformador toroidal era el componente adecuado para este sistema. En este transformador el núcleo magnético tiene forma de disco, lo que favorece el rendimiento del circuito magnético al evitar el salto de los electrones de lámina en lámina, produciendo así bajo nivel de ruido por magneto-fricción y de calentamiento debido a las corrientes de Foucault (Xianjun, Lingshun & Shutuan 2012). Esta etapa fue de mucha importancia

en la investigación debido a que un transformador mal diseñado ocasiona grandes pérdidas y a su vez, un inversor poco eficiente. Es posible, entonces pensar en evitar usar un transformador, sin embargo, la ventaja que ofrece su uso es la robustez que brinda frente a cargas pesadas elevando así la vida útil de los componentes del sistema.

El transformador diseñado e implementado contó con las siguientes características:

- Potencia pico 1.5KW
- Potencia nominal 1KW
- Voltaje primario: $48\text{VDC}/1.414 = 34\text{VAC}$
- Voltajes secundarios: 34VAC y 120 VAC
- Medidas del núcleo (diámetro externo 17.2cm, diámetro interno 8cm, altura 6.5cm y área 30cm²)
- Corriente de saturación del núcleo 80A

3.5. Filtro LC

La aplicación de un filtro responde a la atenuación de armónicos para obtener una tensión muy cercana a la sinusoidal pura (Xianjun, Lingshun, & Shutuan 2005).

Finalmente, esta etapa filtra los pulsos de tensión y corriente para obtener como salida una onda sinusoidal pura apta para alimentar motores, electrodomésticos, equipos biomédicos e industriales, entre otros. Un dato importante para diseñar un filtro pasa-bajas LC eficiente Fig.7, es que la reactancia inductiva del filtro a una frecuencia de 60 Hz sea muy baja y a la vez sea muy alta al valor de la frecuencia de la portadora de 23.5 KHz. Por otro lado, lo contrario debe suceder en el capacitor, en él debe existir una alta reactancia capacitiva a 60 Hz para que no se vaya a tierra la señal sinusoidal y con mínimas pérdidas alimente la carga, pero a la vez, presente una baja reactancia capacitiva al valor de la portadora. También se debe tener en cuenta que la frecuencia de corte del filtro debe ser 10 veces mayor a la frecuencia de 60Hz y 10 veces menor a la de la portadora para luego promediar y obtener el valor óptimo de f_C para lograr que la curva de atenuación del filtro esté lo suficientemente lejos de la frecuencia fundamental para evitar pérdidas.

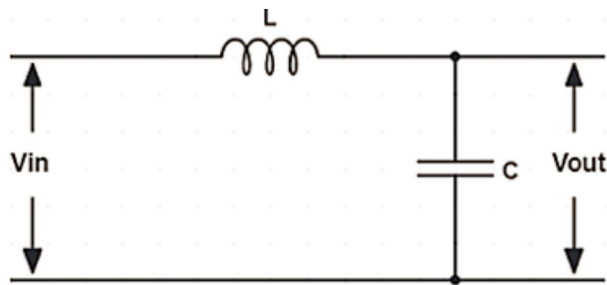


Fig. 7 Filtro LC pasa-bajas
Fuente: autores

El diseño de la figura 7 cuenta con las siguientes especificaciones:

- $L = 1.8\text{mH}$
- $X_L = 700\Omega$ a 60Hz
- $C = 6.3\text{ uF}$
- $X_C = 1.1\Omega$ a 23.5KHz
- $f_C = 1475\text{Hz}$

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Luego del diseño y la implementación del convertidor DC-AC se procedió a realizar pruebas y verificaciones del funcionamiento en contraste con los objetivos de la investigación. Se realizaron pruebas utilizando un banco de baterías de 48VDC alimentando a través del convertidor, una carga resistiva de 70W con el objetivo de conocer la eficiencia real. Para ello se midió el flujo de corriente saliente desde las baterías (1.604A), para conocer de este modo la potencia de entrada (77W), la eficiencia que es la potencia de salida sobre la de entrada fue del 90.9%, también se calculó el ángulo de desfase tensión-corriente (0.193°) y el factor de potencia (0.999) (Salvatierra et al. 2007).

Las pruebas con carga inductiva usando un taladro de 600W demostraron la efectividad del filtro LC manteniendo la forma de onda sinusoidal pese a la gran inyección de armónicos por este tipo de carga. Finalmente, se realizaron pruebas con cargas no lineales (computadoras, televisores, entre otras), las cuales fueron energizadas satisfactoriamente por el convertidor durante 2 horas mostrando así la consistencia del sistema. En las figuras 8 y 9 se puede apreciar la onda de salida sinusoidal medida en el osciloscopio y el aspecto físico del convertidor.

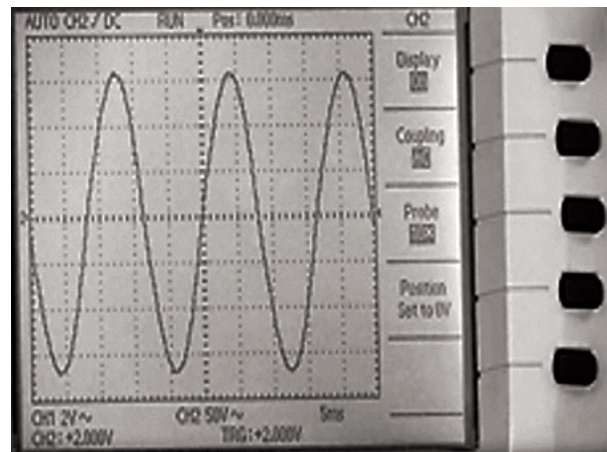


Fig. 8 Salida Sinusoidal del convertidor DC-AC
Fuente: autores



Fig. 9 Aspecto físico del Convertidor DC-AC
Fuente: autores

El convertidor cuenta además con mecanismos de protección a fallos, entre ellos un arrancador suave para protección de sus componentes y un LED color rojo para el diagnóstico Fig. 10.

NORMAL	●●●●●●●●●●●●●●●●
SOBRE CORRIENTE	●●●●●●●●●●●●●●●●
SOBRE VOLTAJE	●●●●●●●●●●●●●●●●
POR DEBAJO DEL VOLTAJE	●●●●●●●●●●●●●●●●
EXCESO DE TEMPERATURA	●●●●●●●●●●●●●●●●

Fig. 10 Secuencia de parpadeos LED para diagnósticos.
Fuente: autores

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El equipo convertidor DC-AC diseñado, cuenta con características como: onda de salida seno pura, voltaje nominal de salida de 120VAC y una variación menor al 5%, frecuencia de 60 Hz y una variación de $\pm 1\%$, voltaje máximo de entrada 48 VDC, rendimiento sobre el 90%, distorsión armónica total menor al 3% y potencia nominal de 1.5KW. Por sus características el convertidor se puede usar en sistemas energéticos alternativos y fuentes de alimentación ininterrumpida ofreciendo alta confiabilidad y robustez, haciéndolo competitivo en el mercado actual (Gallego, Cano & Muñoz 2015).

Como trabajos futuros, se puede implementar una etapa de potencia con mayor número de Mosfet para incrementar la potencia nominal soportada a 3KW e implementar aislamiento fotoeléctrico con el objetivo de proteger la etapa de control contra sobrecargas. Otra mejora a futuro es el uso de circuitos Snubbers para corregir los picos transitorios dados en la conmutación y evitar pérdidas por el calor que ellos producen en la etapa de potencia.

En síntesis, este proyecto contribuye a mitigar la contaminación ambiental, generar fuentes de alimentación seguras que alarguen la vida útil de equipos eléctricos y electrónicos y disminuir los altos costos de energía eléctrica mediante la implementación de sistemas energéticos alternativos eficientes (Gutiérrez, Castillo & Ramírez, 2016).

REFERENCIAS

Aguilar, C, Vazquez, A & Gordillo, J 2017, 'Integrated DC – AC converter as power conditioner for fuel cell based system', Ieee Latin America Transactions, 14 (5), 2107-2112.

Aguilera, J (2016), Ambiente y pobreza: una mirada interdisciplinaria, Eucasa, Argentina.

Arango, M & Arroyave, S 2016, 'Análisis de combustibles fósiles en el mercado de generación de energía eléctrica en Colombia: un contraste entre modelos de volatilidad', Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, 22, 190-215.

Ballester, E & Piqué, R 2001, 'Convertidores continua-alterna', en E Ballester & R Piqué, Electrónica de potencia. Principios fundamentales y estructuras básicas. Marcombo, Barcelona.

Conde, L 2013, 'Pronóstico de generación eléctrica en sistemas fotovoltaicos conectados a la red', Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A, 10, 39-48.

Díaz, J 2015. Inversores PWM [en línea], Universidad de Oviedo, España, consultado, <http://ieeepels-ies.es/Pels/Pdf/Leccion%20Inversores%20Juan%20Diaz.pdf>

EGmicro Corp 2014, EG8010 Datasheets, EGMicro Corp, China.

Fazal, A, Cha, H, Khan, A & Kim, H 2017, 'A Highly reliable and efficient differential type buck-boost DC-AC converter', 2017 Ieee 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (Ifeec 2017 - Ecce Asia), Ieee Conference Publications, Taiwan, Kaohsiung, pp. 1781-1796.

Gallego, J, Cano J & Muñoz N 2015, 'Deducción de Pérdidas de Potencia por Conducción en Inversores Modulación Senoidal de Ancho de Pulso, Spwm', Información Tecnológica, 26 (3), 111-1225.

Gutiérrez, J, Castillo R & Ramírez M 2016, 'Diseño e implementación de un inversor SPWM con ondas de salida seno pura de alta eficiencia', Revista Publicaciones e Investigación, 10.

Haider, R, Alam, R, Binte, N & Salim., K 2012, 'Design and construction of single phase pure sine wave inverter for photovoltaic application', 2012 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (Iciev), Ieee Conference Publications, Bangladesh, Dhaka, pp. 190-194.

Hidalgo, E 2015, 'Las energías limpias comienzan a minar el imperio del petróleo', Debates Iesa, 20, 67-69.

International Rectifier 2005, IR2110 Datasheets, International Rectifier, California.

López, D, Camacho, G, Díaz, J & Gaviria, C 2007, 'Modulación PWM aplicada a inversores trifásicos dentro del esquema de accionamientos eléctricos AC', pp.1-24, consultado: http://www.unicauca.edu.co/ai/publicaciones/ISAShow_Diaz.pdf

Magallán, G, De Angelo, C & García, G 2009, 'eliminación de interferencia armónica para la detección de fallas en motores eléctrico', Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 6, 89-97.

Maldonado, M & Torres, J 2011, 'Evaluación del plan de manejo ambiental para una planta de producción de biodiesel', Revista Publicaciones e Investigación, 5, 59- 70.

Muñoz, N, Cano, J, Cano, B & López, J 2016, 'Control de un convertidor elevador de voltaje AC/DC utilizando balance de potencias', Información Tecnológica, 27(2), 3-4.

Oswald, U 2017, 'Seguridad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México', Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales, 62, 155-195.

- Petropol, G & Petropol, I 2016, 'Study of the harmonics of current and voltage for a synchronous generator in the context of railway constraints', International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (Speedam), Ieee, Italia, Anacapri, pp. 1149-1154.
- Rashid, M 2004, 'Inversores modulados por ancho de pulso', en M Rashid, Electrónica de Potencia, Pearson Educación, Ciudad de México.
- Salvatierra, B, Coyago, K, Chacón D & Inga, J 2017, 'Inverter resonant control by modified SPWM and trapezoidal modulation for induction cooking', 2016 Ieee International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (Ropez 2016), Ieee, Ixtapa, México, pp. 1-6.
- Sun, F, Hu, C, Li, S, Li, J & Hu, X 2016, 'Design and experiment on driving power supply for drip irrigation piezoelectric pump', Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 34(9), 761-766.
- Valles, A, Acosta, L & Pérez, A 2014, 'Evaluación energética de los generadores de vapor F1-2 y BH-109 de una refinería cubana de petróleo', Revista Publicaciones e Investigación, UNAD, pp. 8, 89-96.
- Xianjun, S, Lingshun, I & Shutuan, H 2012, 'Research for digital DC PWM controlling system', 2012 International Conference on Future Energy, Environment, and Materials, Energy Procedia, Hong Kong, vol. 16, pp. 1547-155.
- Xianjun, S, Lingshun I & Shutuan, H 2005, Redes Eléctricas de Kirchhoff con 400 problemas resueltos, Revides, Salamanca.

DIMENSIONAMIENTO MATEMÁTICO DE OBRAS HIDRÁULICAS PARA UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN RÍO NEGRO, CUNDINAMARCA MEDIANTE MÉTODOS LÓGICOS DEDUCTIVOS POR MEDIO DE ÁBACOS Y GRÁFICAS OBSOLETAS

MATHEMATICAL DIMENSIONING OF HYDRAULIC WORKS FOR A SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANT IN RIO NEGRO, CUNDINAMARCA THROUGH DEDUCTIVE LOGICAL METHODS THROUGH OBSOLETE ABACUS AND GRAPHICSS



Nicolás Girón Cuervo

Ingeniería Civil, Uniminuto, Bogotá D.C., Colombia

Recibido: 21/01/2019 • Aprobado: 26/02/2019

RESUMEN

Determinamos nuestro sistema híbrido (Ortiz Flórez, 2011) como la presa, aliviaderos, canal, tomas de agua, tuberías, turbinas, casa de máquinas, generadores y entre otros para nuestro proyecto, todos los cuales son elementos que nos ayudarán a cumplir el propósito de este trabajo que es la elaboración de una guía que permita reducir las incertidumbres generadas en los estudios de pre-factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas, con un rango de instalación de 1.000 a 10.000 kW, los dimensionamientos matemáticos como lo son las dimensiones reales, cantidades de obra que se requieren para ellas y precios de cada parte que construye el sistema. La producción de energía eléctrica es vital para mantener nuestro estilo de vida y así mismo el desarrollo económico de los países. Colombia produce alrededor del 70% de su energía por medio de las centrales hidroeléctricas, las cuales, durante sus etapas de construcción, operación y abandono, generan diferentes impactos acumulativos negativos (Vargas Nieto, 2018). Al identificar esta problemática optamos por proponer una metodología para aplicar el principio de precaución, el cual ha sido un instrumento fundamental en la toma de decisiones que se ha consolidado progresivamente en el derecho ambiental internacional. La fase de pre-factibilidad de una central hidroeléctrica conlleva señalar la capacidad de generación de energía eléctrica anual así como su potencial eléctrico que es posible instalar en la cuenca Río Negro, la cual cuenta con una variedad de cotas de nivel desde la 3.500 msnm del departamento de Cundinamarca hasta la cota 670 msnm del mismo departamento donde se propone ubicar la casa de máquinas para la central, es decir en la cota 2.900 msnm, aparte de ello la cota de captación es 3.000 msnm. Usando una metodología sencilla que a grandes rasgos es la identificación de caída mayor en el curso del río en la menor distancia (Ortiz Flórez, 2011) y a su vez se desarrolla como guía, lo cual permite realizar unas correlaciones para determinar un caudal de diseño y con ello dimensionar las obras hidráulicas

¹ngironcuerv@uniminuto.edu.co, orcid.org/0000-0002-2893-2307

anteriormente mencionadas, y ya con ellas, determinar un listado de precios que ayuden a seleccionar la mejor alternativa, y, obtener precios unitarios para totalizar junto con las cantidades de obra y así determinar su precio y el del kW instalado. Para más claridad, se explica a detalle la metodología usada más adelante.

Palabras clave: aliviaderos, hidráulica en ductos abiertos y cerrados, turbina, pre-factibilidad, presa.

ABSTRACT

We determine our hybrid system (Ortiz Flórez, 2011) as the dam, spillways, canal, water intakes, pipes, turbines, machine house, generators and among others for our project, which all these are elements that help us fulfill the purpose of this work which is the elaboration of a guide that allows to reduce the uncertainties generated in the pre-feasibility studies of small hydroelectric plants, with an installation range of 1000 to 10,000 kW, the mathematical dimensions such as the real dimensions, quantities of work that is needed for them and prices of each part that builds the system. The production of electricity is vital to maintain our lifestyle and the economic development of the countries. Colombia produces around 70% of its energy through hydroelectric power plants, which during its construction, operation and abandonment stages, different negative cumulative impacts (Vargas Nieto, 2018). In identifying this problem, we chose to propose a methodology to apply the precautionary principle, which has been a fundamental instrument in decision-making that has been progressively consolidated in international environmental law. The pre-feasibility phase of a hydroelectric power plant leads to the annual electric power generation capacity as well as its electrical potential that is possible to install in the Río Negro basin, which has a variety of level levels from the 3,500 masl of the department from Cundinamarca to the 670 meters above sea level of the same department where it is proposed to locate the powerhouse for the plant, that is to say at 2900 meters above sea level, apart from that the catchment level is 3000 meters above sea level. Using a simple methodology that in broad strokes is the identification of major fall in the course of the river in the smallest distance (Ortiz Flórez, 2011) and in turn is developed as a guide which based on in order to make correlations to determine a design flow and with this dimension the hydraulic works previously specified and with them determine a list of prices that help select the best alternative and get unit prices to total together with the quantities of work and thus determine its price and the price of the installed kW, for more Clarity of the methodology used below is explained in detail.

Keywords: dam, hydraulics in open and closed pipelines, pre-feasibility, spillways, turbine.



1. INTRODUCCIÓN

Las centrales hidroeléctricas son de gran importancia en Colombia debido a que de estas depende la mayoría de la generación de energía eléctrica que el subsector eléctrico provee al país, por lo tanto, se encuentran varios proyectos alrededor del territorio nacional para alcanzar a cubrir la demanda de este servicio (Monsalve, 2000).

En el país es necesario obtener una licencia ambiental para que sea posible la realización de este tipo de

proyectos, la cual se enfoca en que se tengan en cuenta los daños que son conocidos en cuanto a tiempo y magnitud, dejando de lado los impactos acumulativos que podrían tener mayor relevancia por su sinergia, y el hecho de que existe incertidumbre sobre los riesgos que estos impactos generan, llegando a producir daños irreversibles tanto para los ecosistemas como para los seres humanos. Las grandes represas destruyen los ríos; eliminan las aves, los peces, las plantas acuáticas y muchas otras especies asociadas. Las grandes represas

arruinan hermosos valles, inundan enormes superficies de humedales, bosques y tierras agrícolas; han desplazado a decenas de millones de personas; incluso han matado a cientos de miles al colapsar, al liberar aguas sin previo aviso, o diseminando enfermedades tales como la malaria y la leishmaniasis. La mayoría de las represas hidroeléctricas no son renovables porque atrapan los sedimentos, los que gradualmente colmatan los embalses. Aguas abajo, por lo tanto, estas estructuras despojan de sedimentos las orillas de los ríos, los ecosistemas ribereños, e incluso los deltas, aumentando la erosión, las inundaciones y disminuyendo a la vez la productividad de los bordes costeros. Colombia cuenta con una hidrografía amplia en comparación con otros países, ocupando el tercer puesto en el mundo. Esto permite que la mayor generación de energía eléctrica se genera en centrales hidroeléctricas, ya sean estas pequeñas o grandes cuya diferencia radica en su capacidad de potencia instalada; 5.000 kW para las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) y más de 5.000 kW para las centrales hidroeléctricas (CH), según la clasificación de Olade (Organización Latinoamericana de Energía) (Monsalve, 2000).

La metodología que se emplea en este estudio ambiental, da una breve definición y caracterización para los proyectos hidroeléctricos que influyen y se plantean en el área de la cuenca del Río Negro; se tiene en cuenta la demanda de recursos naturales, definición de impactos, plan de manejo y al final una definición de alternativas. Se tienen varios aspectos sobre las turbinas hidráulicas como la clasificación, partes de una turbina, tipos de turbina, características técnicas y selección de la misma. Existen varios criterios para escoger una turbina, en este trabajo se selecciona por medio de un diagrama que tiene en cuenta la caída bruta del agua versus el caudal que se manejará para el proyecto (Zapico, s.f.).

Con base en lo anterior, y los resultados obtenidos en trabajos previos de análisis hidrológicos que se realizaron durante la fase de identificación para el desarrollo hidroeléctrico de la cuenca del Río Negro y sus afluentes, se determinó el comportamiento de los caudales medios mensuales en términos de las curvas

de duración correspondientes, lo que permitió tener en cuenta las características principales de los caudales mínimos, medios y máximos en los sitios alternativos estudiados para la ubicación de la central hidroeléctrica. Los resultados se obtuvieron en la estación hidrográfica del IDEAM ubicada en la cuenca del Río Negro que tiene por código 2119733 PTE NEGRO.

Al, se tiene en cuenta el caudal de diseño y caudal firme para el desarrollo del proyecto, con los cuales se pueden hallar otros datos técnicos para la Central, los cuales conllevan a establecer los costos por kW instalado para el proyecto deseado. El desarrollo de éste artículo es proponer alternativas para evaluar costos, dimensiones reales, cantidades de obra, entre otras, lo que diferencia a cada alternativa es la longitud de tubería a utilizar tanto para la conducción, presión y restitución con el fin de que faciliten la identificación de una opción que satisfaga las recomendaciones tanto económicas como ambientales y espaciales para pasar a la construcción de ella.

En la cuenca del Río Negro, desde donde nace hasta donde desemboca en el río Sumapaz es zona rural y la más próxima urbanización que se verá beneficiada será Pasca, que es un pueblo de alrededor de 12.175 habitantes. La central no solo favorece al vecindario; si no también al sistema interconectado que puede desplazar cualquier cantidad de energía que esta genere, ese es el fin de esta pequeña central hidroeléctrica, aportar al sistema interconectado y aprovechar para alimentar a casas aledañas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de energía hidroeléctrica se destaca por sus bajos costos y por tener impactos medioambientales menores que los de la energía producida por combustibles fósiles, y, comparada con otras energías renovables, tiene como ventaja el manejo o regulación del caudal del río, de manera que en el momento en que se necesite generar energía se deja fluir el agua. “El agua como fuente de energía permite un almacenamiento y regulación en su uso proporcionando una

trascendental ventaja con respecto a otras fuentes renovables (energía mareomotriz, geotérmica, hidráulica, eólica, solar, de la biomasa, etc.), la energía hidroeléctrica es la de mayor calidad, por la posibilidad de su dosificación y de obtener su explotación en espacios de tiempo estratégicos” (Osorio, 2008).

En Colombia, las centrales hidroeléctricas son proyectos que contribuyen con cerca del 75% de la energía eléctrica para el abastecimiento de nuestro país. En el informe presentado por el Ministerio de Minas, para el año 2018 el consumo de energía eléctrica fue de 24.273 (MW) de lo cual 13.418 (MW) fue proveniente de energía hidroeléctrica (Ministerio de Minas y Energía. Informe de gestión 2017 - 2018).

La presencia de las centrales hidroeléctricas genera, desde la etapa de construcción hasta su etapa de abandono, impactos acumulativos en el medio ambiente; un impacto acumulativo es definido por Vicente Conesa como “Aquel efecto que al prolongar en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto” (Fernández-Vitora, 2011); lo cual no solo afecta a los ecosistemas a su alrededor, sino también a la población que se encuentra cercana, lo que nos lleva a desconocer la magnitud y el tiempo en que ocurren estos impactos, y por lo tanto estos aspectos no son tomados en cuenta al momento de la realización de estos proyectos.

Los proyectos hidroeléctricos pueden provocar daños graves e irreversibles en ecosistemas vegetales, tales como pérdida del hábitat y especies vegetales propias del ecosistema, afectación del paisaje, alteración de la vida acuática como consecuencia de la variación y reducción del caudal de agua, así como también los cambios físicos, químicos y biológicos del agua, transformación del microclima, afectación de grupos indígenas, y otras comunidades, desplazamiento de familias, impactos en las comunidades hidrobiológicas, entre otras. En el caso de Colombia se encuentran proyectos como el complejo hidroeléctrico de la Miel I en Caldas, Hidrosogamoso en Boyacá e Hidroituango en

Antioquia; cuyos impactos acumulativos son desconocidos en cuanto a su grado, tamaño, escala y tiempo; por lo cual se generan conflictos entre los grupos de interés, esto no solo crea problemas en los ambientes físico y biótico, sino también a nivel social.

Entre los impactos acumulativos más significativos para este tipo de proyectos se encuentran los impactos acumulativos generados por la reducción del caudal, en comunidades hidrobiológicas, sedimentación, aumento de la erosión, deterioro de la calidad del agua, impactos en suelos, ecosistemas y afectación en la producción del área de influencia por el embalsamiento, desvío, perforación del túneles, alteración de la dimensión social, económica y política del área, entre otros (Díaz Rodríguez, 2015). Según la Corte Constitucional el principio de prevención es establecido de la siguiente manera “El principio de prevención se materializa en mecanismos jurídicos tales como la evaluación del impacto ambiental o el trámite y expedición de autorizaciones previas, cuyo presupuesto es la posibilidad de conocer con antelación el daño ambiental y de obrar, de conformidad con ese conocimiento anticipado, a favor del medio ambiente” (Corte Constitucional de Colombia. Sentencia T-204 de 2014), lo cual nos indica que el estudio de impacto ambiental y los planes de manejo ambiental establecidos para un proyecto solo aplica para aquellos daños ambientales en los cuales se conoce la magnitud y tiempo del daño, razón por la cual podemos concluir que este mecanismo es insuficiente para otorgar licencias ambientales a proyectos hidroeléctricos debido a que en los impactos acumulativos no se conoce magnitud ni tiempo del daño.

El principio de precaución definido por la ley 99 de 1993 como “cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente”, por lo tanto la aplicación del principio de precaución en proyectos hidroeléctricos es lo más correcto ya que como menciona la Corte Constitucional este se aplica en los casos en los que no hay un previo conocimiento del riesgo o la magnitud del daño producido.

En la actualidad no se cuenta con propuestas metodológicas para la aplicación del principio de precaución en la generación de energía hidroeléctrica, lo que nos indica que estos proyectos se rigen por el Estudio de Impacto Ambiental y los principios de prevención y precaución; esto nos demuestra que se encuentra un vacío en la normatividad para otorgar licencias ambientales a proyectos hidroeléctricos; siendo la Ley 99 de 1993 quien habla del principio de precaución el cual no ha sido aplicado en ningún proyecto de este tipo, que ante los impactos acumulativos que estos generan, se evidencia la necesidad de recurrir a este instrumento tanto en la planificación, como en la toma de decisiones.

Con la implementación de una central hidroeléctrica ¿Cuánto podría generar el caudal del Río Negro

en cuanto a energía y costos? Para ello se apoyó en modelos, guías y demás artículos para encontrar una manera sencilla de identificar pequeñas centrales hidroeléctricas lo cual hace se implementen alternativas propuestas y se escogiese una para suplir las recomendaciones y la demanda. Mediante fórmulas, nomogramas y tablas que resultan fáciles de entender se llegan a conclusiones rápidas para escoger la alternativa, más adelante se detalla estas figuras que se mencionan, costos y la energía; como tal problemática en el pueblo no existe puesto que es una solución alterna para generar energía y atender a la demanda que presente una futura población cercana a la cuenca, además de ello no solo suple las necesidades de supuesta localidad posterior, si no también aporta al sistema interconectado de tal forma que la energía que se genere en este punto pueda llegar a cualquier parte mediante éste sistema.

TABLA 1
Composición de la energía eléctrica en Colombia para los años 2017-2018

Capacidad efectiva por tipo de generación		
Fecha de reporte: 2018/04/16		
Tipo/Combustible	Capacidad/Efectiva (MW)	%
Despachadas centralmente		
Hidráulica	10,944	64,92
Térmica	4,721	28,00
No despachadas centralmente		
Autogenerador	32,4	19,22
Cogenerador	122,5	76,67
Eólica	18,42	10,92
Hidráulica	829,75	49,22
Solar	9,8	58,14
Térmica	179	10,62
Total capacidad efectiva neta	16,856	100%

Fuente: autores

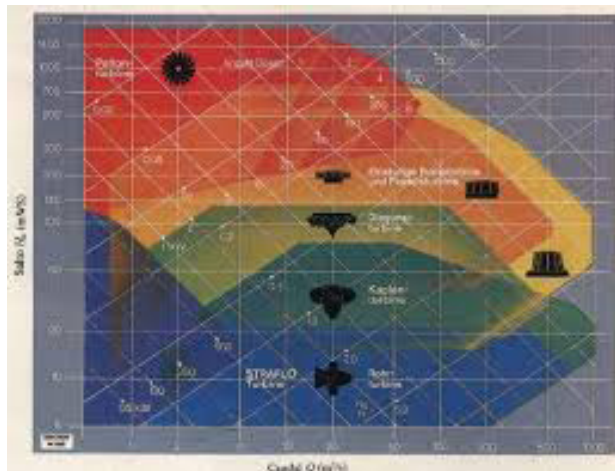


Fig. 1. Selección de turbinas hidráulicas

Fuente: pre dimensionamiento de turbinas (Zapivo, s.f.)

TABLA 2

Valores de velocidad específica para distintos tipos de turbinas junto con sus sistemas

	Sistema de turbinas	Velocidad específica (r.p.m.)	
Pelton	de un chorro	4 -	35
	de dos chorros	17 -	50
	de cuatro chorros	24 -	70
Francis	lentas	80 -	120
	normales	120 -	250
	rápidas	250 -	350
	super rápidas	350 -	450
Kaplan	lentas	300 -	550
	normales	550 -	750
	rápidas	750 -	1000

Fuente: pre dimensionamiento de turbinas (Zapico, s.f.)

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se usa una metodología no tan reciente, se basa en interpretar, mediante resultados de cálculos obtenidos matemáticamente, unas gráficas o ábacos que lo vuelve muy sencillo a la

hora de tratarse de selección de turbinas y las partes que la componen, y, así mismo, el dimensionamiento de las partes que conforman el sistema híbrido. Para el desarrollo de dicha metodología se definen tres alternativas, ubicadas de distinta manera para variar la caída neta y evaluar sus aspectos que volverán a la alternativa tanto efectiva como no efectiva, así que se empezará de la siguiente manera:

- Definir el sitio de estudio: en estudios previos para trabajos de asignaturas de hidráulica se fueron desarrollando estudios hidrológicos del Río Negro como lo fue el estudio de caudal, puesto que para determinar el caudal para trabajar tocaba traspasar el caudal de la estación más cercana, esto fue posible con la serie de caudales que suministro la Corporación Autónoma Regional (CAR).
- Delimitar el río junto con sus afluentes (quebradas y torrentes), y trazar un divorcio de manera que separe sus afluentes principales de los demás: esto se evidencia en la gráfica III del artículo, con el fin de limitar imaginariamente el territorio.
- Ubicar las distintas estaciones hidroclimáticas e hidrológicas; con base al IDEAM se obtuvieron alrededor de 7 estaciones hidrológicas en donde sólo una fue de utilidad para el traspaso de caudales, la cual está ubicada en donde desemboca con el río Sumapaz.
- Realizar un balance hídrico en donde se tenga en cuenta la serie de caudales medidos en las diferentes estaciones: puesto que ya se habían realizado estudios de balances en materias anteriores es más para corregir errores y algo de esos resultados.
- Definir el caudal medio anual: ya una vez definido el caudal de la estación se procede a traspasar ese caudal al lugar de la captación para identificar el caudal a trabajar.
- Calcular áreas de la delimitación para distintas cotas: para determinar el perfil del río, tanto longitudinal como transversal, y así mismo buscar una caída mayor en el curso del río en la menor distancia, lo cual es la restricción que se debe tener presente para este tipo de proyectos.
- Con el caudal de diseño se procede a diseñar

las obras hidráulicas como lo son la bocatoma, el desarenador, el canal de conducción, túnel de presión, cámara de presión, canal de restitución, turbina, entre otras.

- T. Nozaqui realizó estudios en , y basado en eso elaboró unos nomogramas para determinar cantidades de obra, son nomogramas que basta con el caudal de diseño y la caída neta para encontrar volúmenes, excavaciones y aceros de las obras (Nozaki, 1984).
- De acuerdo con precios unitarios de Construdata se determinan los costos de las tres alternativas propuestas y se selecciona la más apropiada.
- Se realiza análisis de la alternativa para ponerla en marcha; aquí entran los aspectos ambientales, gubernamentales y sociales que afecten el desarrollo de la misma.

4. USO DE LA METODOLOGÍA EN EL PROYECTO

De acuerdo con esta metodología en el estudio de prefactibilidad de una micro central hidroeléctrica en la cuenca del Río Negro (Girón, 2018), se evaluaron 3 alternativas de aprovechamiento hídrico para el Río Negro.

Se decidió ubicar el proyecto en el mayor desnivel en el curso del río en la menor distancia (Garcés, 2012), apoyándonos en la teoría del canal de conducción con una longitud no mayor a 5 km, para no generar altos costos y la tubería de presión no mayor a 2 kilómetros para tratar de disminuir el golpe de ariete. Ortiz Flores, R. (2001).

5. RESULTADOS

Se evaluaron tres alternativas, variando cada una la cota de la casa de máquinas y dejando fijo la cota de la captación, a continuación, se presentan los resultados de la alternativa seleccionada:

TABLA 3

Caída bruta de la alternativa seleccionada

Caída bruta	
casa de máquinas	2900
captación	3000
Caída bruta (m)	100

Fuente: propia

Se fijó la captación y la casa de máquinas en cotas de 300 y 2.900 msnm respectivamente.

TABLA 4

Caudal medio de la alternativa seleccionada

Caudal medio	
Área total(km2)	380000,00
Área 1 (km2)	60000,00
Caudal promedio anual (m3/s) (caudal de la estación)	5,89
Caudal medio (m3/s)	0,93

Fuente: propia

El área total hace referencia a toda la cuenca, mientras el área 1 encierra desde donde desemboca el río hasta las cotas entre 3.000 y 3.400 msnm, de esta manera se observa la estación que se encuentra dentro de estas cotas y junto a la serie de caudales suministrado por la CAR se realiza un promedio entre años y meses, posterior a esto se calcula el caudal medio así:

$$\text{Medio} = \frac{\text{Caudal area 1}}{\text{area total}} * \text{caudal de la estación}$$

TABLA 5

Caída neta de la alternativa seleccionada

Caída neta	
86,20%	Caída bruta
13,80%	perdidas
86,2	Caída neta (m)

Fuente: propia

Dimensionamiento matemático de obras hidráulicas para una pequeña central hidroeléctrica en Río Negro, Cundinamarca mediante métodos lógicos deductivos por medio de ábacos y gráficas obsoletas

Para estos proyectos están estandarizados porcentajes de caídas brutas y pérdidas, la caída neta se calculó así:

$$\text{Caída neta (m)} = \text{Caída bruta} * \frac{100 - 13,8}{100}$$

TABLA 6

Caudal de diseño de la alternativa seleccionada

Caudal de diseño (m3/s)
1,116

Fuente: propia

El caudal de diseño se calculó así:

$$\text{Caudal de diseño} = 1,2 * \text{caudal medio}$$

El 1,2 hace referencia a factor de diseño de cálculos estadísticos.

TABLA 7

Capacidad instalada de la alternativa seleccionada

Capacidad instalada	
1071,22	kW
1,0712	MW

Fuente: propia

Para calcular la capacidad instalada se usó la siguiente formula:

$$\text{Capacidad instalada} = 1,2 * 8 * \text{caudal de diseño} * \text{caída bruta}$$

Nuevamente aparecen factores de diseño de cálculos estadísticos.

TABLA 8

Total de cantidades de obra de la alternativa seleccionada
Según T. Nozaqui

Total	
Excavación, m3	40000,01
Concreto, m3	9182,69
Hierro, Tn	146,02
Rejilla, Tn	5,97
Compuerta, Tn	3,07
Total, m3	49182,70
Total, Tn	155,06

Fuente: propia

Para determinar estos volúmenes de excavación, concreto, hierro, rejilla, compuerta y demás, se utilizaron ábacos de la metodología de T. Nozaqui, que sencillamente, con el caudal de diseño, caída bruta y caída neta se ingresan y se leen en intercepciones de gráficas y se determinan tanto dimensiones de las obras de conducción, desarenador, tanque de presión, aliviadero, tubería de presión, casa de máquinas y demás obras hidráulicas que conforman la central hidroeléctrica.

TABLA 9

Precios unitarios según Construdata

PRECIOS UNITARIOS		
ITEM	UN	\$ COL
EXCAVACION	M ³	\$ 19.616
RELLENO		
Relleno material en sitio	M ³	\$ 21.672
Rellenos de excavación	M ³	\$ 10.421
Relleno en recebo común compactado	M ³	\$ 80.370
Relleno grava 3/4	M ³	\$ 75.038
Relleno gravilla fina 1/2	M ³	\$ 81.945
CONCRETO		
Concreto corriente grava común 3500	M ³	\$ 374.660
Concreto armado	M ³	\$ 356.388
ACERO		
Acero de maquinaria	Ton	\$ 1.200

Fuente: valores fueron suministrados por Construdata en la página de internet (<https://www.construdata.com/>).

TABLA 10

Total de costos de la alternativa seleccionada

TOTAL ALTERNATIVA CANTIDADES DE OBRA			TOTALES
ITEM	UN		
EXCAVACION	M³	40000	\$ 784.630
CONCRETO	M³	9183	\$ 3.272.596
HIERRO	Ton	146	\$ 175
REJILLA	Ton	6	\$ 7
COMPUERTA	Ton	3	\$ 3
Rellenos de excavación	M³		\$ 21
Equipos Electromecánicos	Ton	1153	\$ 1.383
		SUMA	\$ 4.058.818
		USD \$	\$ 1.352
		POTENCIA (kW)	\$ 1
		USD \$/Kw (instalado)	\$ 1
		ENERGIA (kWh año)	\$ 7.507

Fuente: propia

Luego de obtener precios unitarios, se lleva a cabo la totalización de estos junto con las cantidades de obra obtenidas.

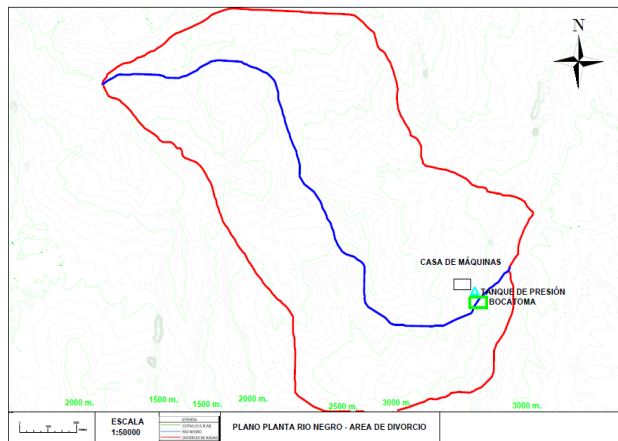


Fig. 2. Perfil del río con ubicación de obras según alternativa

Se realiza, para una mejor percepción, un mapeo mediante Google Earth; con ayuda de Global Mapper se pudo traspasar el polígono del río y del divisorio a AutoCad para fácil manejo e interpretación.

5.1. Fórmulas para el dimensionamiento de turbinas

$$N_s = \frac{3470}{H^{0,625}}; \quad n = \frac{1164H^{0,125}}{\sqrt{Q}}; \quad N_s = \frac{2000}{\sqrt{H}}$$

$$n = \frac{670H^{0,25}}{\sqrt{Q}}; \quad k_u = 0,31 + \frac{N_s}{400}; \quad k_u = \frac{D_3 * n}{84,55\sqrt{H}}$$

$$D_1 = \frac{0,4 + 94,5}{N_s} * D_3; \quad D_2 = \frac{D_3}{0,96 + 0,00028N_s}$$

$$H_1 = \frac{0,094 + N_s}{4000} * D_3$$

$$H_2 = \frac{-0,05 + 42}{N_s} * D_3 \text{ Para } N_s < 110$$

$$H_3 = \frac{D_3}{(3,16 - 0,0013/N_s)} * D_3 \text{ Para } N_s > 110$$

$$v = \frac{844}{N_s^{0,44}}$$

$$A = \frac{1,2 - 19,6}{N_s} * D_3; \quad B = \frac{1,1 + 54,8}{N_s} * D_3; \quad C = \frac{1,32 + 49,25}{N_s} * D_3$$

$$D = \frac{1,5 + 48,8}{N_s} * D_3; \quad E = \frac{0,98 + 63,6}{N_s} * D_3; \quad F = \frac{1 + 131,4}{N_s} * D_3$$

Dimensionamiento matemático de obras hidráulicas para una pequeña central hidroeléctrica en Río Negro, Cundinamarca mediante métodos lógicos deductivos por medio de ábacos y gráficas obsoletas

$$G = \frac{0,89 + 96,5}{N_s} * D_3; H = \frac{0,79 + 81,75}{N_s} * D_3; I = \frac{0,1 + N_s}{1538,5} * D_3$$

$$L = \frac{0,88 + N_s}{2040} * D_3; M = \frac{0,6 + N_s}{66,667} * D_3; N = \frac{1,54 + 203,5}{N_s} * D_3$$

$$O = \frac{0,83 + 140,7}{N_s} * D_3; P = \frac{1,37 - N_s}{1785,7} * D_3; Q = \frac{0,58 + 22,6}{N_s} * D_3$$

$$R = \frac{1,6 - 0,0013}{N_s} * D_3; S = \frac{D_3}{0,25 - \frac{9,28}{N_s}}; T = \frac{1,5 + N_s}{5263,2} * D_3; Z = \frac{2,63 + 33,8}{N_s} * D_3$$

Fuente: Francis, Zapico Gutiérrez, Pablo, Jefe de la sección de Industria y Energía de la junta de Castilla y León en León.

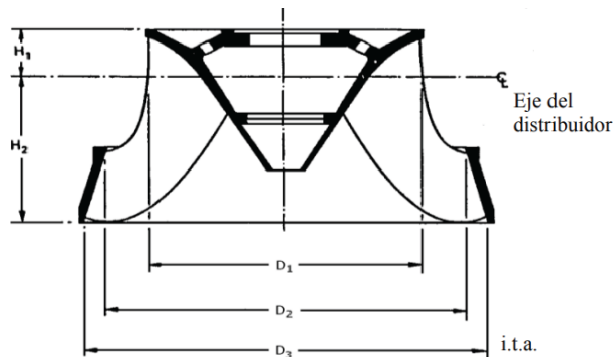


Fig. 3. Fórmulas para dimensionamiento de partes de la turbina, continuación

Fuente: pre dimensionamiento de turbinas (Zapico, s.f.)

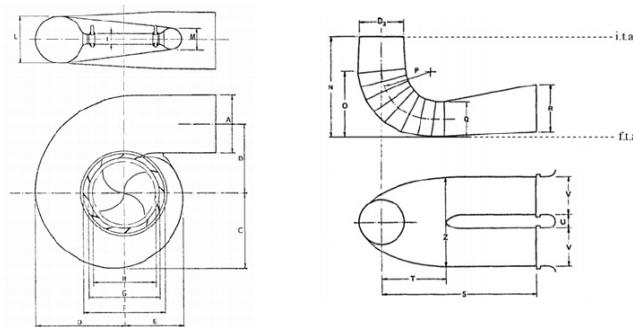


Fig. 4. Fórmulas para dimensionamiento de partes de la turbina, continuación

Fuente: pre dimensionamiento de turbinas (Zapico, s.f.)

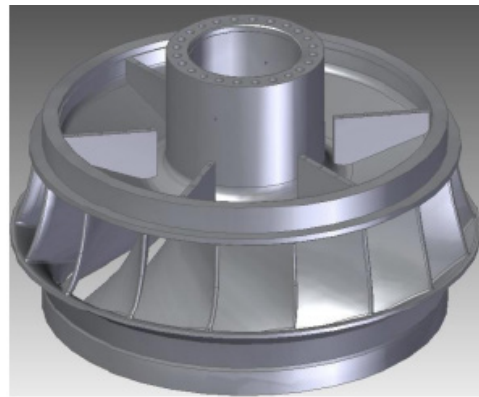


Fig. 5. Modelo turbina Francis

Fuente: (Garcés, 2012)

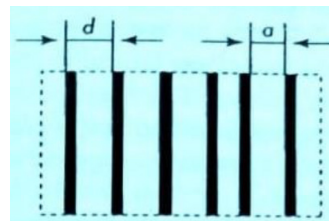
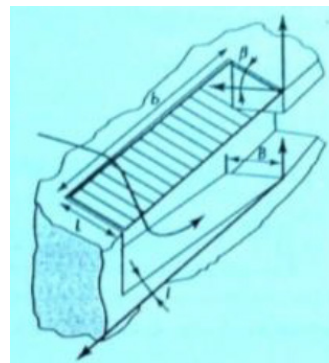
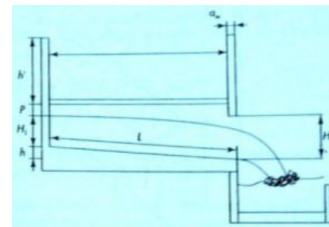
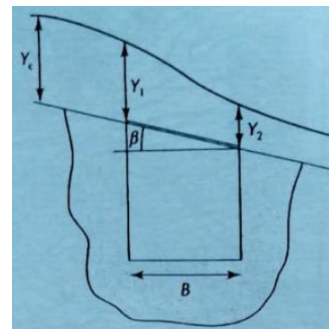


Fig. 6. Diseño de bocatoma

Fuente: Ortiz Flores, R. (2001)

ETP: evapotranspiración potencial en mm.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25t + 0,005t^2$$

Donde:

P: precipitación en mm/año

T: temperatura media anual en °C

ETR: evapotranspiración real en mm/año

5.4. Ecuación del caudal estimado para la cuenca de Río Negro

$$Q_{\text{cuenca}} = \frac{Q_{\text{estación}} * P_{\text{p}} * \text{Área de la cuenca}}{P_{\text{estación}} * \text{Área de la estación}}$$

Donde:

Q cuenca: caudal estimado en $\frac{m^3}{seg}$ de la cuenca.

Q estación: caudal registrado en $\frac{m^3}{seg}$ en la estación de Puente Negro

Pp cuenca: precipitación media anual en mm del área de drenaje de la cuenca

Área cuenca: área en kilómetros cuadrados de la cuenca

Pp estación: precipitación media anual en mm del área de drenaje de la estación Pte Negro

Área estación: área en kilómetros cuadrados de la estación limnigráfica Puente Negro.

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)

6. ANÁLISIS DE RIESGOS

Para realizar un análisis de riesgos, es fundamental identificar y calificar los riesgos para así clasificar su nivel y luego determinar la posibilidad de

ocurrencia y las consecuencias de los factores a los cuales se está expuesto.

En el caso del desarrollo de un proyecto como el de las centrales hidroeléctricas, es necesario realizar un análisis del riesgo ambiental, que nos muestre aquellos factores de riesgo a los cuales están expuestos, tanto los ecosistemas como las comunidades humanas, que consiste en establecer los escenarios y cuantificar aquellos riesgos que ocasionen un daño ambiental, por lo cual se debe implementar la metodología más apropiada para lo cual es necesario tener en cuenta estos puntos:

- La incertidumbre asociada a la estimación de la magnitud del daño medioambiental de una hipótesis de accidente, se limitará con la utilización de modelos de simulación del comportamiento del agente causante del daño medioambiental.
- La caracterización de daños agudo, crónico y potencial equivaldrá a una pérdida de recurso natural de un 75, 30 y 5 %, respectivamente.
- Los análisis de riesgos deben valorar en qué medida los sistemas de prevención y gestión de riesgos reducen el potencial daño medioambiental que pueda derivarse de la actividad.
- Se actualizará el análisis de riesgos medioambientales cuando se produzcan modificaciones sustanciales en la actividad (Allpe, 2019).

7. APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN

Para que el principio de precaución se active es necesario que el daño sea grave e irreversible, es decir que este daño es tal, que la naturaleza no puede volver a su estado anterior debido a que se generó un cambio sustancial; además de que existe insuficiente aporte por parte de la ciencia para conocer con precisión, y sin duda alguna, la existencia o no de un potencial daño al medio ambiente causado por la actividad concreta, lo cual crea responsabilidad para las entidades públicas y para los particulares para anticiparse a aquellos daños (Lora, 2011).

En la Conferencia de Wingspread sobre la Puesta en Práctica del Principio de Precaución, se define el principio como:

“Cuando una actividad se plantea como una amenaza para la salud humana o el medio ambiente deben tomarse medidas precautelares aun cuando algunas relaciones de causa y efecto no se hayan establecido de manera científica en su totalidad” (Salazar, 2009).

Para la aplicación del principio de precaución se debe tener en cuenta que consiste en un proceso flexible el cual depende del caso, información, actores, incertidumbre y alternativas; por lo cual se recomiendan los siguientes seis pasos.

7.1. Identificar la posible amenaza y caracterizar el problema: en este se debe comprender por qué la situación es un problema ya sea en la salud humana y/o ecosistema, y así mismo quien sufriría el impacto, ya sea en determinada especie, agua, aire o tierra y si estos serán de una manera desproporcionada además de su magnitud, localización, ¿es una amenaza o una molestia?, el lapso de tiempo entre la amenaza y el posible daño, su persistencia (inmediato, a corto plazo, medio plazo, largo plazo, intergeneracional), reversibilidad (fácil/rápida de revertir, difícil/ cara de revertir, irreversible, desconocida), significancia, amplitud (insignificante, mínima, moderada, considerable, catastrófica), ¿fallas en la parte gubernamental o negligencia empresarial? y el ¿qué podría pasar si la actividad continuará? Por esto es necesario reconocer los actores que intervienen en la construcción y funcionamiento de las centrales hidroeléctricas, además de la consulta de la normatividad, el tipo de impacto y riesgos que se generan y la caracterización de los mismos.

7.2. Identificar lo que se sabe y lo que no se sabe sobre la amenaza: reconocer la información que se tiene y de la que aún existe incertidumbre; para así determinar el grado de ésta al tener en cuenta los vacíos que se alojan en el problema para poder obtener una mayor comprensión del mismo, por lo cual deben cuestionarse los diferentes factores, como si se puede reducir la incertidumbre con los estudios

o datos, cuál es el grado de incertidumbre, lo que se conoce sobre los efectos aditivos y sinérgicos además de acumulativos, qué tan segura es realmente la actividad; todo esto con el fin de tener una visión más clara del problema. En este caso vemos que en los proyectos de centrales hidroeléctricas se conocen los impactos ambientales que pueden ser gestionados desde el principio de prevención, sin embargo, la incertidumbre de aquellos impactos acumulativos debe ser resaltada, por lo cual es esencial la aplicación del principio de precaución, por lo cual se inicia con la contextualización del problema y la identificación de los impactos significativos.

7.3. Reformular el problema para obtener una descripción de lo que se debe hacer: para esto se debe definir el propósito o necesidad que cubre la actividad o producto, para así poder formular de manera más sencilla una alternativa para reducir el impacto sobre la salud o ecosistemas que esto genere por medio del establecimiento de objetivos a corto y mediano plazo.

7.4. Evaluar las alternativas: se deben evaluar rigurosamente las alternativas propuestas (necesario un análisis detallado para así determinar el papel de las autoridades y empresas) y las ya existentes para buscar una forma más segura o limpia frente a la actividad o producto problema, por lo que también se podrían tener en cuenta según sea el caso, alternativas enfocadas hacia la prevención, control, mitigación o remediación. Para esto es necesario enfocarse frente a las diferentes alternativas, en las más factibles tanto política, técnica y económicamente; además de considerar las consecuencias imprevistas que se puedan presentar para así determinar que la solución no resulta peor que el problema. La evaluación de las alternativas es todo un proceso en el que primero se exponen todas las alternativas para así luego descartar las que parezcan imposibles. Seguido a esto determinar el tipo de alternativa con el fin de limitar la evaluación para finalmente realizar un análisis de los posibles riesgos que se pueden ocasionar por implementar la alternativa propuesta, por lo cual es necesario hacer un seguimiento de esta.

7.5. Determinar el curso de acción: según la evidencia e información obtenida sobre el problema, debe determinarse el grado de precaución para adoptar, desde prohibir una actividad o producto, hasta hacerle alguna modificación u optar por una pronta alternativa con el fin de reducir el impacto potencial. En este caso es útil acudir a la opinión de expertos para así tener evidencia que tenga en cuenta los datos, magnitud, incertidumbre de las alternativas.

7.6. Supervisión y seguimiento: independiente de la medida que se tome es necesario supervisar la actividad a lo largo del tiempo para poder identificar los resultados esperados e inesperados, y así saber si se necesita realizar modificaciones o cambiar las acciones tomadas (Bhatti, Bedi, 2006).

Los impactos acumulativos generados por las centrales hidroeléctricas en algunas ocasiones generan daños graves e irreversibles, lo cual nos permite aplicar el principio de precaución, además actualmente no se encuentra certeza científica de estos daños, pero, sin embargo, se han evidenciado las consecuencias de estos. Para la caracterización de las amenazas que pueden tener estos impactos se encuentran múltiples vacíos lo que conlleva a seleccionar las alternativas que sean las más adecuadas frente a estos.

8. CONCLUSIONES

Esta metodología es sencilla, es una manera de buscar alternativas de manera rápida y eficiente.

Se comprobó que las fallas ocurridas en pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia, en su mayoría fueron generadas por falencias en los estudios de pre factibilidad. En algunos casos estas fallas se podrían haber evitado si se hubiera aplicado un sistema híbrido de generación de energía, como en el caso de López de Micay.

La aplicación de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica permite mantener una eficiencia óptima de abastecimiento de la demanda, ya que al

funcionar en una red interconectada, se suple la generación en los momentos críticos que se presenten en alguno de los sistemas de generación.

Colombia es un país rico en fuentes energéticas tanto renovables como no renovables. Las fuentes que presentan una buena viabilidad técnica y económica para generación de energía eléctrica son: hidroenergía, dendroenergía, energía solar y energía eólica.

El objetivo de cualquier proyecto, o estudio del mismo, es el beneficio de la comunidad y de los individuos.

La adecuada comunicación con la comunidad es esencial, ya que no solo va a ser la directamente afectada por el proyecto, sino que va a ser la que participará en mayor número durante su desarrollo.

La utilización de fuentes renovables de energía, en reemplazo de otras no renovables, tiene beneficios económicos, proporcionando una mayor eficiencia, con un considerable potencial disponible, así como con una disminución en los impactos ambientales negativos.

Los avances tecnológicos y la disminución en las reservas de las fuentes energéticas no renovables, impulsa la explotación de las fuentes renovables y su implementación, para que eventualmente reemplacen a las fuentes energéticas convencionales no renovables.

La planta diésel utilizada clásicamente para cubrir la demanda en las épocas de sequía, será reemplazada por una fuente renovable, salvo en los casos en que no se disponga de ninguna de ellas en el área del proyecto.

La legislación internacional está impulsando la aplicación de sistemas limpios de producción de energía, al poner en el mercado internacional bonos por el valor de las emisiones que se producirían en caso de que la cantidad de energía generada fuera producida con combustibles fósiles. Esto trae grandes beneficios para los costos del proyecto. Este tipo de incentivo tiene una tendencia creciente en el futuro.

REFERENCIAS

- Allpe, (s.f.) (2019). Corte Constitucional de Colombia
- Arcila Salazar, Beatriz, (2009). El principio de precaución y su aplicación judicial, Revista Facultad de Derecho y Ciencias Políticas, Universidad Pontificia Bolivariana Colombia.
- Díaz Rodríguez, C. (2015). Aspectos bioéticos relacionados con la producción y demanda residencial de energía eléctrica en Colombia. Tesis de doctorado en bioética. Departamento de Bioética. Universidad El Bosque, Bogotá. Recuperado de: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/1751/D%C3%ADaz_Rodr%C3%ADguez_Carlos_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fernández-Vitora, (2011). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental, Ediciones Mundi-Prensa.
- Francis, Zapico Gutiérrez, P. (2019). Pre dimensionamiento de turbinas, Jefe de la sección de Industria y Energía de la junta de Castilla y León en León, profesor asociado de la Universidad de León.
- Garcés Miranda, H. R. (2012). Determinación de costos unitarios para la construcción de minicentrales hidroeléctricas. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Girón Cuervo, N. (2018). Estudio de prefactibilidad de una micro central hidroeléctrica en la cuenca del río Negro, Cundinamarca, trabajo de grado.
- Karem I. Lora Kesie. (2011). El principio de precaución en la legislación ambiental colombiana. Actualidad jurídica.
- Lora Kesie, K. I. (2011). El principio de precaución en la legislación ambiental colombiana. *Actualidad Jurídica*. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/documents/4368250/4488389/El+principio+de+precauci%C3%B3n+en+la+legislaci%C3%B3n+ambiental+coombiana/c7e464c7-f69c-43e3-967d-f9d-63ce1ca6f>
- Ministerio de minas y energía. 2018-09-19. Unidad de planeación Minero Energética, Informe de gestión.
- Monsalve Sáenz, G. (2000). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Alfaomega / Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Nozaki, T. (1984). Guía para la elaboración de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas destinadas a la electrificación rural del Perú. Ciner. Recuperado de: <http://hubenergetico.com/ciner/guia-para-la-elaboracion-de-proyectos-de-pequenas-centrales-hidroelectricas-destinadas-a-la-electrificacion-rural-del-peru/#>.
- Osorio, (2008). Energía hidroeléctrica: Series de energías renovables, 2da edición, editorial Zaragoza: prensas de la universidad de Zaragoza.
- Ortiz Flores, R. (2001). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*, Bogotá: Ediciones de la U.
- Rodríguez, (2015). Aspectos bioéticos relacionados con la producción y demanda residencial de energía eléctrica en Colombia.
- Riechmann & Tickner, (2002).
- Sanz Osorio, J. F. (Coord.). (2008). *Energía hidroeléctrica*. Series de energías renovables, 2da edición, editorial Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Sentencia T-204 de 2014. Corte Constitucional de Colombia, Principio de prevención.
- Tara Bedi, Summet Batthi, (2006). Xavier Gine, Emanuela Galasso, Markus Goldstein y Arianna Legovini, La evaluación de impacto y el ciclo de proyecto.
- Vargas Nieto, M. D. (2018). Hidroeléctricas, ¿energía amigable con el medio ambiente? *Pesquisa Javeriana*. Recuperado de: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/hidroelectricas-energia-amigable-con-el-medio-ambiente/>
- Zapico Gutiérrez, P. (s.f.). Pre dimensionamiento de turbinas Francis. Recuperado de: www.energetica21.com (2018).

ALTERNATIVAS AMBIENTALES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA RESIDUAL DE PALMA ACEITERA (*ELAEIS GUINEENSIS*) EN PROCESOS INDUSTRIALES Y AGRÍCOLAS

ENVIRONMENTAL ALTERNATIVES FOR THE USE OF RESIDUAL OIL PALM BIOMASS (*ELAEIS GUINEENSIS*) IN INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL PROCESSES



¹Andrés Leonardo Vanegas Escudero

Ingeniería Ambiental, Fundación Universidad Autónoma de Colombia, Bogotá Colombia

Recibido: 3/09/2018 Aprobado 22/10/2018

RESUMEN

Colombia se posiciona como el primer productor de aceite de palma en América Latina y el cuarto a nivel mundial. Durante la extracción del aceite de palma se genera biomasa residual lignocelulósica como los racimos de fruta vacía (RFV), fibras de mesocarpio, cuesco de palma; además, de producirse emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y efluentes con alta carga orgánica (POME); que al no ser procesados, tratados o dispuestos adecuadamente, representan causales de contaminación ambiental. No obstante, los residuos lignocelulósicos y el POME presentan características atractivas con fines de aprovechamiento mediante la transformación de la biomasa en procesos termoquímicos, físicos y biológicos; tal es el caso de la producción de compostaje y energías alternativas como los biocombustibles de segunda generación. Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica de los efectos ambientales de la inadecuada gestión de los residuos provenientes de la extracción del aceite de palma e identificar las alternativas de aprovechamiento de esta biomasa para la aplicación en procesos agrícolas e industriales. Como resultado de esta revisión se identificó contaminación en fuentes hídricas, afectación de ecosistemas acuáticos y emisiones de GEI. Finalmente se identificó la viabilidad de emplear la biomasa residual de la industria palmera como materia prima en la producción de compostaje, biochar, biogás, bioaceite y bioetanol.

Palabras clave: biomasa lignocelulósica, biocombustibles, compostaje, extracción, POME.

ABSTRACT

Colombia is positioned as the first producer of palm oil in Latin America and the fourth worldwide. During the extraction of palm oil, lignocellulosic residual biomass is generated such as empty fruit clusters (RFV), Mesocarp fibers, Palm kernel; In addition, there are emissions of greenhouse gases (GHG) and effluents with high organic load

¹ andres.vanegas@fuac.edu.co, orcid.org/0000-0001-5782-6354

(POME); which, when not processed, treated or properly disposed, represent causes of environmental pollution. However, lignocellulosic residues and POME have attractive characteristics for exploitation purposes through the transformation of biomass into thermal, physical and biological processes; such is the case of the production of composting and alternative energies such as second generation biofuels. This article aims to carry out a bibliographic review of the environmental effects of the inadequate management of waste from palm oil extraction and identify the alternatives for using this biomass for application in agricultural and industrial processes. As a result of this review, contamination in water sources, involvement of aquatic ecosystems and GHG emissions were identified. Finally, the viability of using the residual biomass of the palm industry as a raw material in the production of composting, biochar, biogas, bio-oil and bioethanol was identified.

Keywords: *biofuels, composting, extraction, lignocellulosic biomass, POME.*



1. INTRODUCCIÓN

Colombia se posiciona como el primer productor de aceite de palma en América Latina, seguido por Ecuador, Honduras, Guatemala y Brasil (González, 2016); y en el contexto internacional, se ubica en el cuarto puesto después de Indonesia, Malasia y Tailandia. (Fedepalma, 2016). Se estima que a nivel nacional cerca de 500.000 hectáreas han sido utilizadas para la siembra de palma alrededor de departamentos como: Meta, Santander, Cesar, Magdalena, Casanare, Bolívar, Norte de Santander, Nariño, Sucre, La Guajira, Córdoba, Antioquia, y Atlántico (ICA, 2016). Durante el 2017, Colombia alcanzó un rendimiento de 3.8 toneladas de aceite por hectárea, una cifra importante al considerar que supera el promedio mundial (Fedepalma, 2018).

Según Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2001), para la obtención del aceite de palma se genera cerca de 2.1 toneladas de residuos sólidos/ tonelada de aceite producido de un racimo de fruta fresca (RFF) distribuido en 24% de tusa, 21% aceite, 14% de fibras y 6% de cascaras; residuos que por su alto contenido orgánico, representan una fuente con gran potencial de ser transformados y aprovechados como materia prima en la elaboración de productos con valor agregado en la agricultura y otras industrias. Adicional a estos residuos, se producen efluentes del molino de aceite de palma (POME) (Nasution *et al.*, 2018); caracterizado por las altas concentraciones de demanda bioquímica

de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) (Chin *et al.*, 2013); además de contener partículas orgánicas e inorgánicas coloidales voluminosas (Hossain *et al.*, 2019); condiciones que afectan a los ecosistemas acuáticos al realizarse vertimientos directamente a las masas de aguas superficiales, limitando la calidad del agua y favoreciendo la eutrofización.

Este artículo tiene como finalidad realizar una revisión bibliográfica para identificar las posibles alternativas de aprovechamiento de la biomasa residual derivada de la extracción de aceite de palma africana; para ser aplicadas en procesos agrícolas e industriales.

2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA

El proceso de extracción del aceite de palma inicia con la llegada de los racimos cortados del campo y llevados a la planta extractora (Fig.1), donde se pesa y se realizan los respectivos controles de calidad para luego ser almacenados en tolvas y transportados al área de esterilización (Nieto & Caballero, 2013). Esta se lleva a cabo con vapor de agua saturada a baja presión durante 60 a 90 minutos (dependiendo de la madurez del fruto), el objetivo de este proceso es evitar la acidificación del aceite extraído y acelerar el desprendimiento

de los frutos del racimo; además de facilitar el desprendimiento parcial de la almendra de la cáscara (Estupiñán & Guayana, 2009; González & Alvarado, 2017). Durante el desfrutamiento se separa el fruto del raquis. El fruto es enviado al digestor, donde es macerado en un cilindro vertical precalentado que trabaja a temperaturas entre 85-100°C durante 20 minutos, con el fin de romper las células oleíferas y liberar el aceite contenido en ellas (González & Alvarado, 2017). El fruto macerado pasa a ser una masa homogénea de aceite liberado con subproductos de la fruta, como la nuez y la fibra (Bermúdez & Camero, 2015).

Una vez obtenida la masa, ingresa a las prensas de tornillo sinfín, del cual se obtiene el licor de prensa, que contiene aceite, agua, lodos livianos (pectinas y gomas) y lodos pesados (tierra, arena y otras impurezas) y la torta conformada por fibras y nueces (Nieto & Caballero, 2013). La torta (fibra y nueces) es sometida a un proceso de secado y separación, parte en la que se distribuyen las nueces al área de palmistería y las fibras son utilizadas como combustible en la caldera que genera el vapor de agua (González & Alvarado, 2017).

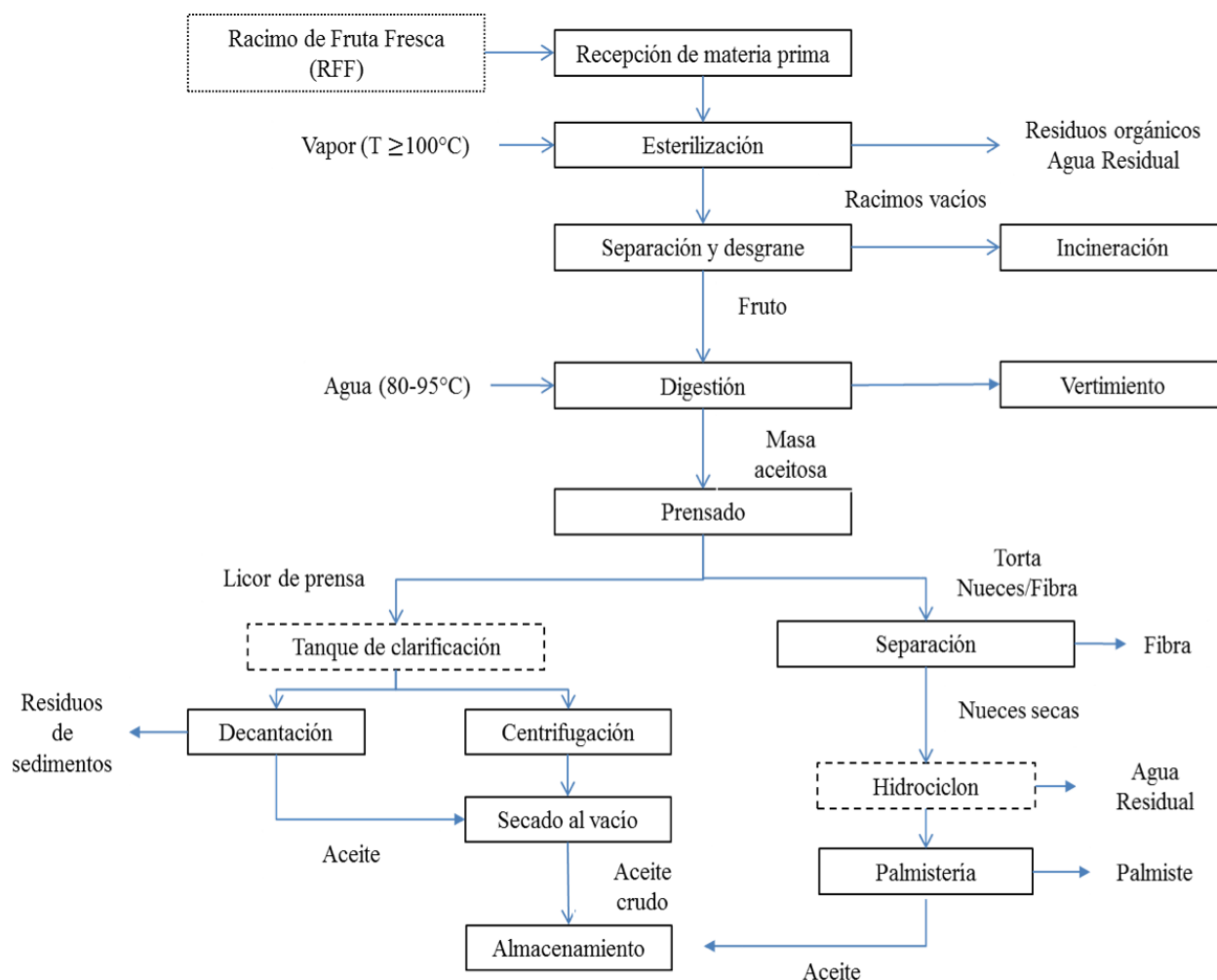


Fig. 1. Proceso de extracción de aceite de palma y residuos generados.

Fuente: adaptado de Lorestani (como se citó en Singh, Ibrahim, Esa & Iliyana, 2010); Sethupathi (como se citó en Parveen, Rajeev, Hakimi, & Norizan, 2010).

Finalmente, se realiza un proceso de clarificación del licor de prensa con el fin de eliminar impurezas y purificar el aceite (Estupiñán & Guayana, 2009). La clarificación se puede realizar mediante clarificación estática (decantación) o por clarificación dinámica (centrifugación) (Nieto & Caballero, 2013). El primer método se basa en la separación por diferencias de densidades entre el aceite y la mezcla líquida extraída de la prensa

(Nieto & Caballero, 2013); mientras que la clarificación por centrifugación aplica la separación mecánica por medio de fuerza centrífuga acelerando el proceso de separación, resultando en ambos casos un aceite más liviano, el cual es sometido a un proceso de secado, con la finalidad de eliminar humedad e impurezas (Alvarado, 2017).

3. RESULTADOS

3.1 Implicaciones ambientales

La producción de aceite de palma genera gran cantidad de biomasa lignocelulosa; en forma de hojas y troncos provenientes del sitio de cultivo de la oleaginosa (Singh, Sulaiman, & Hashim, 2013). Asimismo, durante la extracción y procesamiento del aceite de palma, se producen subproductos y residuos como racimos vacíos, fibra, cuesco, entre otros (ver Fig.2) que al no ser procesados y dispuestos adecuadamente, terminan siendo causales de contaminación ambiental (Sridhar & AdeOluwa, 2009).

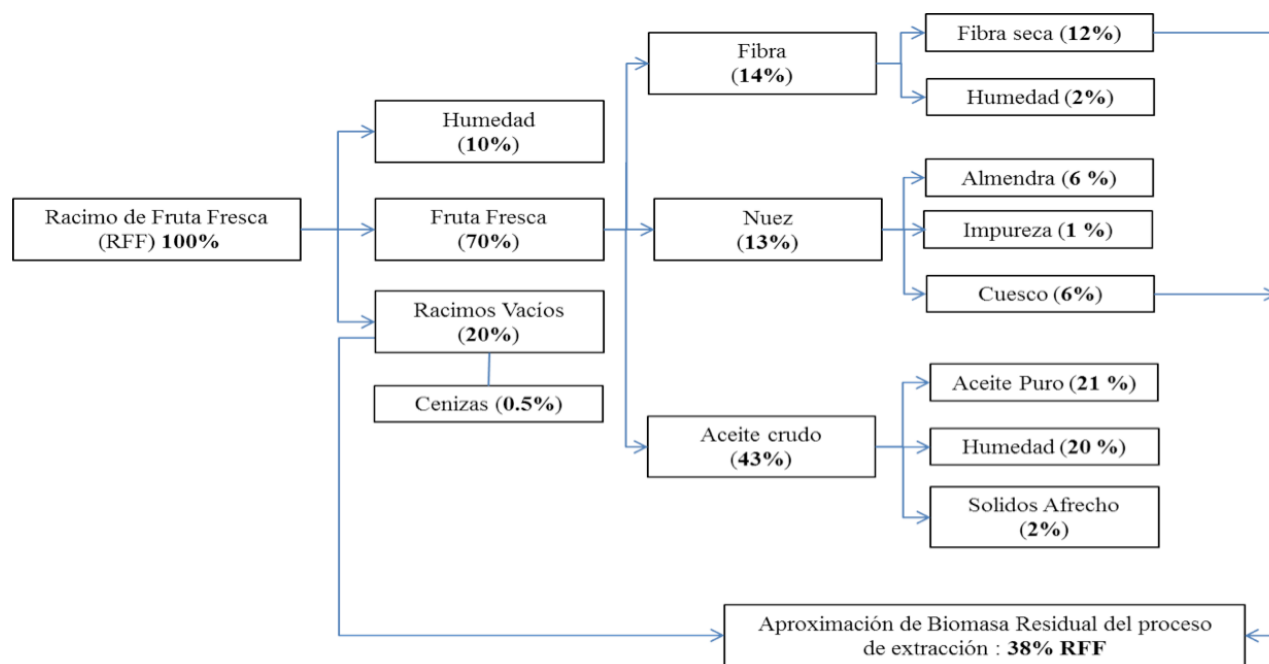


Fig. 2. Balance de masa en el proceso de extracción de aceite de palma.

Fuente: adaptado de Lorestani (como se citó en Singh, Ibrahim, Esa & Iliyana. 2010); Rincón, Gómez & Klose (2011).

En la Fig. 2 se identifica que durante la extracción de aceite de palma se genera cerca de un 38% de biomasa residual de un racimo de fruta fresca (RFF). En lo que respecta de la fibra, esta es empleada como combustible en las calderas generadoras de vapor de agua;

mientras que la almendra es triturada para la extracción de aceite; en tanto la torta es sometida a trituración con el objetivo de obtener harinas promotoras de alimento para aves de corral y ganado (Van, 2016).

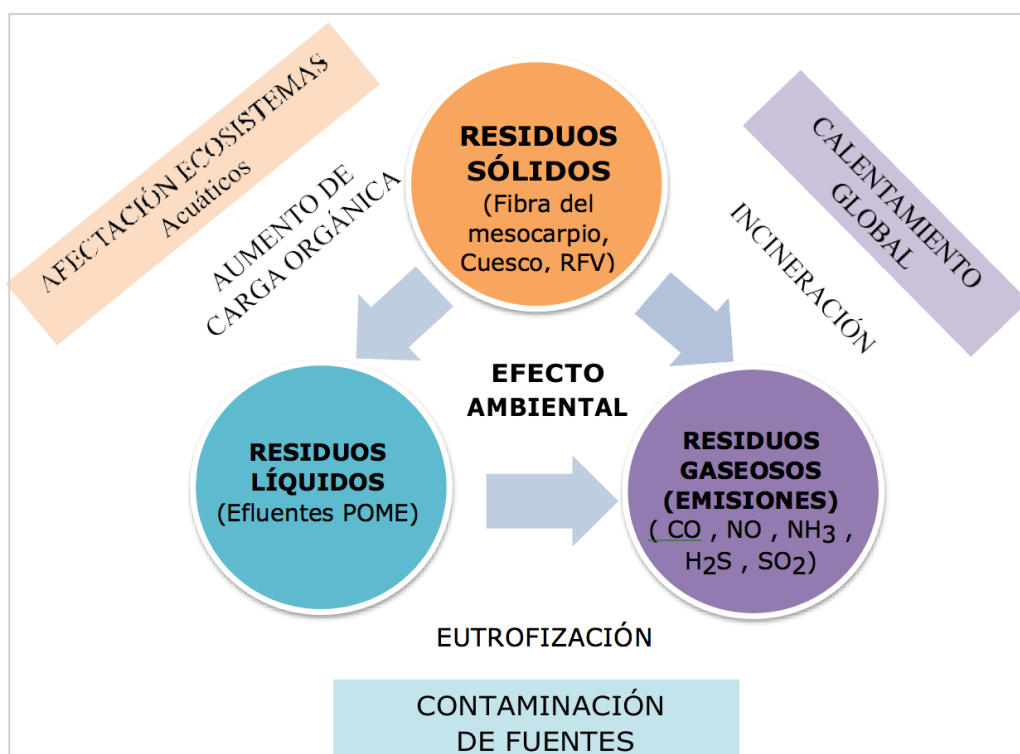


Fig. 3. Residuos de la producción de aceite de palma causales de contaminación ambiental.

Fuente: autor.

Adicionalmente de los residuos, se generan emisiones y efluentes como consecuencia de la extracción de aceite de palma (Fig. 3). Las emisiones contaminantes son el resultado del ablandamiento del fruto que es sometido a vapor de agua en la caldera alimentada por raquis, a la cual se le atribuye la emanación de gases como NO_x, CO₂; además del desprendimiento de material participado (Carrillo & González, 2008). De acuerdo con Izah, Angaye & Ohimain, (2016), las industrias palmeras emplean equipos que requieren diesel para llevar a cabo la actividad de digestión, de esta etapa se liberan gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO), amoníaco (NH₃), sulfuro de hidrógeno (H₂S), dióxido de azufre (SO₂) y compuestos orgánicos volátiles (VOC). Bajo estas condiciones, este tipo de gases afectan el equilibrio radiactivo en la atmósfera, situación que contribuye al calentamiento global.

En cuanto a los efluentes, se estima que por cada tonelada de aceite crudo producido, se generan 3

toneladas de agua residual (Choong *et al.*, 2018; Hassan & Abd-Aziz, 2012) compuesto principalmente en 95- 96% de agua; aceite y grasa 0,7% y sólidos totales entre 4-5%; además de presentar una alta acidez que oscila entre 4-5 (Ahmad, Sumathi & Hameed, 2006). Asimismo, estos efluentes contienen nutrientes como sodio, potasio, magnesio, nitrógeno y fósforo, siendo estos últimos (N y P), los principales responsables de eutrofización.

La eutrofización se produce como consecuencia de vertimientos directos de los efluentes de las industrias sobre los cuerpos de agua superficiales produciendo el aumento desmesurado de nitrógeno y fósforo. Al incrementar las concentraciones de nitrógeno en las masas de agua, aumenta las poblaciones de fitoplancton, los cuales se caracterizan por su corto periodo de vida, y al morir estos organismos, son descompuestos por bacterias aerobias, reduciendo de tal forma el oxígeno disuelto y favoreciendo las condiciones anóxicas del medio (Abella & Martínez, 2012). La reducción de

las concentraciones del oxígeno disuelto en las fuentes hídricas puede llegar a ocasionar la desaparición de diferentes especies piscícolas superiores y a su vez la proliferación de olores y sabores desagradables en el agua, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica por bacterias anaeróbicas que generan gases CH_4 y H_2S (Fig. 3) (Chapa & Guerrero, 2010; Abella & Martínez, 2012).

Por otra parte, se ha reportado la presencia de metales pesados como zinc, cobre, cadmio, cromo, hierro, entre otros; además de microorganismos como bacterias lipolíticas y metanógenos y hongos. También señalan Tan & Lim, (2019), que estos efluentes provenientes de la clarificación y esterilizado presentan alta concentración en cuanto a la demanda química de oxígeno (DQO), alcanzando concentraciones de 54.000 mg/L; demanda biológica de oxígeno (DBO) 25.000 mg/L y sólidos en suspensión total (SST) de 44.000 mg / L. Según Khalid & Wan Mustafa, 1992; Igwe & Onyegbado; 2007 (como se citó en Alade *et al.*, 2011) estos vertimientos resultado de la extracción del aceite de palma durante esterilización, condensación e hidrociclación, presentan un alto potencial de agotamiento del oxígeno, siendo este 100 veces mayor en relación a las aguas residuales domésticas. De acuerdo a la resolución 0631 de 2015, los valores límites máximos permisibles en los parámetros DBO es 600 mg/L, DQO5 1500mg/L y STT 400 mg/, mientras que en pH el rango oscila entre 6-9 (Fedepalma, 2015). Lo anterior, permite identificar una importante diferencia entre los valores reportados de los efluentes de la industria palmera en contraste a lo estipulado en la normatividad, condición que hace indispensable el adecuado tratamiento de las aguas residuales con el objetivo de minimizar y reducir las posibles perturbaciones a los ecosistemas acuáticos, contaminación de los cuerpos de agua, pérdida de la biodiversidad y posibles efectos sobre la salud de la población.

3.2 Alternativas de aprovechamiento

La industria palmera aporta gran cantidad de biomasa lignocelulosa durante la extracción del aceite, residuos que por sus características son susceptibles de aprovechamiento a partir de la elaboración de productos con valor agregado. No obstante, la industria palmera, incurre a incinerar estos residuos, ya sea con el fin de reincorporarlos como fuente de combustibles para generar vapor de agua en las calderas, o quemarlos a cielo abierto, con la finalidad de reducir los volúmenes de los mismos; lo cierto, es que, en el primer caso, aunque se están reincorporando los residuos como el endocarpio (cáscara de la almendra), fibras del mesocarpio y los racimos de fruta vacía (RFV), se está perdiendo biomasa que puede ser tratada y transformada para obtener productos con mayor eficiencia; en el segundo, al ser quemados a cielo abierto se pierde el potencial energético de la biomasa y se producen efectos adversos al medio ambiente y la salubridad de la población, debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y material particulado (MP).

Otras industrias palmeras, optan por verter los residuos lignocelulosos al medio, para que actúen como fertilizante orgánico y eventualmente ser descompuestos de forma natural (Abnisa *et al.*, 2013). Sin embargo estudios como el de Nafissa *et al.*, (2008) indican que la descarga no sistemática de la biomasa residual de la palma africana puede causar emisiones adicionales de metano a la atmósfera.

Los ejemplos anteriores reflejan un escenario poco favorable con lo que respecta a las condiciones ambientales, pese a lo anterior, se han explorado, investigado e implementado alternativas de aprovechamiento de la biomasa palmera, empleándolas como materia prima en la producción de productos como biocombustibles de segunda generación o compostaje (Fig.4.) con el objetivo de dar una adecuada disposición a este tipo de residuos y prevenir posibles efectos de contaminación ambiental (Kong, *et al.*, 2014).

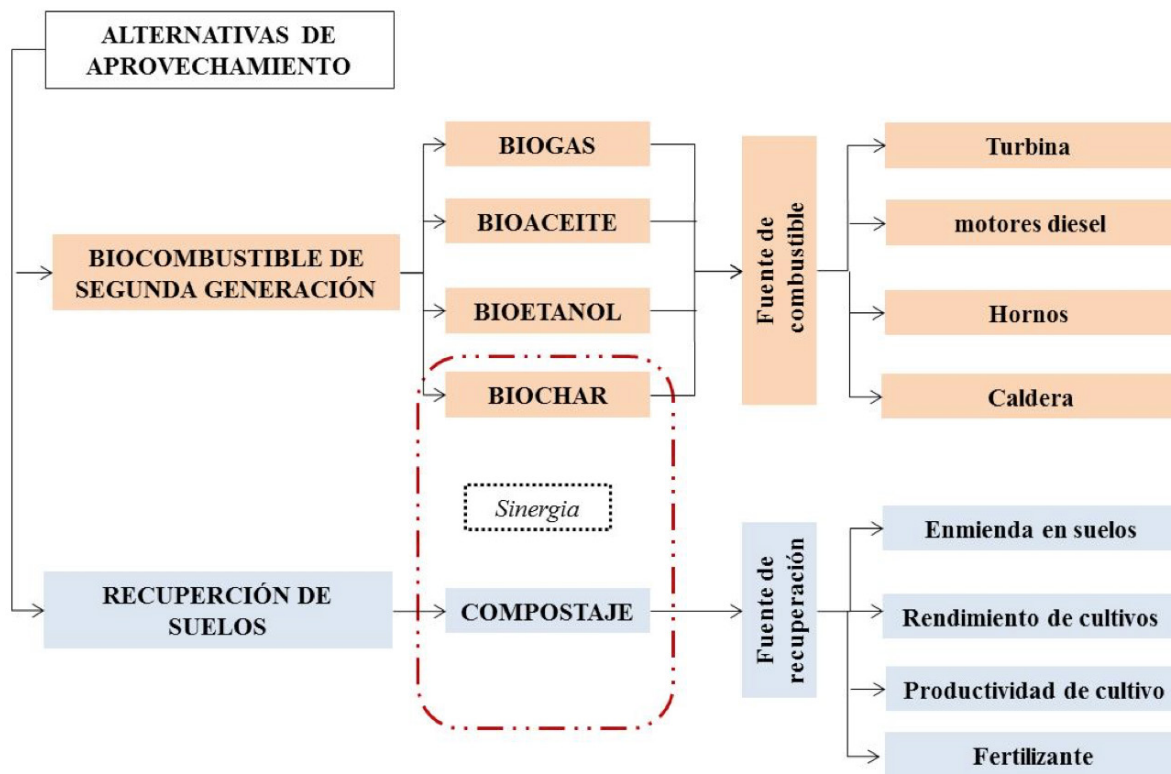


Fig. 4. Alternativas de aprovechamiento de la biomasa residual de la industria palmera.

Fuente: adaptado de Soh, (2016) Gómez *et al.* (2016).

Ahora bien, los residuos de palma aceitera pueden llegar a representar una fuente significativa de energía renovable en las industrias, al ser estos empleados como materia prima promotora de biocombustibles de segunda generación mediante procesos físicos, térmicos, químicos, biológicos, mecánicos o las posibles combinaciones entre estos procesos; favoreciendo, no solo la producción de diferentes formas de energía, sino también, la elaboración de productos no energéticos (Soh, 2016; Kim *et al.*, 2011).

En la Fig.4 se observan las posibles alternativas de aprovechamiento de la biomasa residual provenientes de la industria palmera. Una de las alternativas es la producción de biocombustibles de segunda generación. Según Soh, (2016) los biocombustibles se dividen en biomasa sólida, como biochar, briquetes y pellets; biomasa líquida, como el bioetanol y biodisel; y biomasa gaseosa como el biogás y son el resultado de someter los residuos lignocelulósicos en procesos físico-mecánico,

termoquímicos y/o bioquímicos (Kim, 2010), con la finalidad de emplearlos como fuente de energía renovable para la generación de calor, electricidad o vapor. Estas fuentes de combustibles pueden llegar a sustituir a los combustibles fósiles y ser aplicados en turbinas, motores diesel, hornos o calderas. Por otra parte, los biocombustibles representan una fuente neutral de GEI (Thomsen, Kádár & Schmidt, 2014). Otra de las alternativas de emplear los residuos de palma es en el compostaje como forma de recuperar los suelos degradados y aumentar el rendimiento de los cultivos. También, es posible obtener sinergia entre el biochar y el compost con la finalidad de mejorar las características de este último.

3.2.1 Biochar

El biochar es el resultado de la transformación de la biomasa de palma aceitera, mediante procesos térmicos como la pirólisis. La pirólisis es el proceso de degradación térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno para

deshidratar y eliminar el contenido volátil, siendo sometido a rangos de temperaturas entre 300°C y 600°C (Romero, Cruz & Sierra, 2016; Agudelo, 2017). Durante este proceso, el material se fracciona como resultado de la ruptura de los enlaces menos estables (puente metileno entre anillos aromáticos, éter, tioéter, etc.), dando lugar a numerosos radicales libres muy reactivos, parte de los cuales se estabilizan y reaccionan con el hidrógeno formando la compuestos volátiles, mientras que los otros radicales libres originan residuos sólidos carbonizados a partir de reacciones de polimerización y condensación (Martín, 1995). Esta técnica de degradación de la materia orgánica, es considerada ecológica, debido que no genera residuos que impliquen degradación ambiental (Abnisa *et al.*, 2013).

De acuerdo a Kong, *et al.* (2014). El biochar mejora la fertilidad de los suelos y el rendimiento de los cultivos; asimismo se caracteriza por su capacidad de retención de agua y su función adsorbente de metales pesados como cadmio, plomo, arsénico y cromo en el tratamiento de aguas residuales (Abnisa *et al.*, 2013). Adicionalmente, favorece la reducción de gases de efecto invernadero, debido a que actúa como sumidero de carbón en el suelo. De tal forma, el biochar beneficiaría a la agricultura al ser empleado como enmienda en los suelos degradados, aumentando la producción y el rendimiento de los cultivos (Gómez, *et al.*, 2016). En cuanto a la industria, el biochar es empleado como precursor de carbón activado para el tratamiento de efluentes con elevada carga contaminante y metales pesados. Asimismo, es empleado como fuente de combustible en la alimentación de calderas.

3.2.2 Bioaceite (BIO-OIL)

Según Choi, Oh, Lee & Kim, (2015) el bioaceite es una mezcla compleja de compuestos orgánicos como anhídrido- azúcares, alcoholes, cetonas, ácidos carboxílicos y fenoles. Este tipo de combustible se deriva de someter biomasa residual lignocelulosa a procesos termoquímicos como la gasificación y la pirólisis, ya sea lenta o rápida. Sin embargo, la pirólisis rápida representa un mayor interés en comparación a la pirólisis lenta, debido al alto rendimiento en conservación de líquidos (Arteaga *et al.*, 2012).

Durante la pirólisis lenta, el principal producto es el bioaceite (bio-oil); no obstante, de este proceso también se desprenden productos sólidos y gaseosos que por sus características pueden ser utilizados con otros fines. La pirólisis rápida consiste en descomponer la biomasa residual en material volátil y luego ser condensados obteniendo el bio-oil, para ello se requiere emplear elevadas temperaturas en ausencia de oxígeno, simulando una atmósfera inerte (Arteaga *et al.*, 2012).

Los bioaceites pueden ser aplicados como reemplazo de combustibles fósiles en calderas industriales, motores diesel, hornos y turbinas, ya sea para producir vapor, electricidad o calor. También pueden ser precursores de otros compuestos químicos como los fenoles (Choi, *et al.*, 2015; Arteaga *et al.*, 2012).

Investigaciones como la de Choio *et al.*, 2015, usaron residuos de palma, sometiéndolos a pirolisis rápida en un reactor de lecho fluidizado con un sistema de separación de bioaceite. En mencionada investigación, obtuvieron bioaceite con un rendimiento del 47% en peso a una temperatura de 515°C; que al ser caracterizado se identificaron compuestos como ácido acético, la hidroxiacetona, el fenol y los compuestos fenólicos como el cresol, el xilenol y el pirocateco.

En el artículo de Onifade *et al.* (2017) se utilizaron residuos lignocelulósicos tal como fibra de fruto de palma (*Elaeis guineensis*) y cáscara de nuez física (*Jatropha curcas*), y se pirolizaron a baja temperatura y presión. Como resultado se obtuvo que el pH del bioaceite se incrementaba con el aumento de las temperaturas. En cuanto a la densidad, la viscosidad y el valor calorífico del aceite de palma y residuos físicos fueron de 831.99 y 947.5 kg / m³, 0.695 y 1.58 cPa a temperatura ambiente, 22.33 y 14.169 kJ / g, respectivamente. Asimismo, al caracterizar el biocombustible se identificaron compuestos aromáticos.

Lo anterior permite reconocer la viabilidad de conversión de los residuos de palma en productos útiles en las industrias, es el caso de la producción de bio-aceite como suministro de energía a partir de la

transformación de residuos lignocelulósicos con fines de producción de energía, reducción de gases de efecto invernadero, conservación ambiental.

3.2.3. Biogas

Residuos como efluentes del molino de aceite de palma (POME), procedentes de la extracción del aceite, presenta alto contenido de compuestos orgánicos, propicios en la producción de biogás mediante procesos de digestión anaeróbica (Chin *et al.*, 2013). Este proceso bioquímico en ausencia de oxígeno, involucra la síntesis microbiana que degrada la materia orgánica en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogenia (Trisakti, Manalu, Taslim & Turmuzi, 2015).

Se logra obtener este tipo de biocombustible utilizando biorreactor deflector anaeróbico modificado (MABB), filtración anaeróbica, sistema anaeróbico de membrana ultrasónica (UMAS), entre otros; además, el biogás resultante de la degradación anaeróbica del POME está compuesto principalmente por metano, dióxido de carbono y en menor proporción, Hidrógeno (Ohimain & Izah, 2017); por las características atribuidas a este residuo, hace viable la aplicación del mismo en calderas de alta presión en reemplazo del diesel (Ohimain & Izah, 2017), y a su vez, puede ser utilizado en motores a gas, para generar energía alternativa en la alimentación de los molinos dentro de la propia industria palmera (Rettenmaier, Keller, & Reinhardt, 2014).

Al implementarse esta alternativa de aprovechamiento y transformación de la biomasa residual, permite a las industrias ser partícipes en la producción de energías alternas e impulsa el desarrollo sostenible; y a su vez, se generan iniciativas de impacto benéfico sobre el medio ambiente, reduciendo posibles contaminantes, patógenos y toxicidad en los ecosistemas acuáticos.

3.2.4 Bioetanol

Residuos lignocelulósicos, como el racimo de fruta vacía, el cuesco de palma y fibras, presentan alto contenido de celulosa y hemicelulosa (Castillo, 2016), que al ser sometidos por métodos de conversión enzimática

se obtiene glucosa; posteriormente, mediante hidrólisis enzimática se producen azúcares monoméricos (Samudin & Don, 2015); que por vías fermentativas y procesos de destilación se consigue el etanol (Herrera & Arias, 2014). El bioetanol es un combustible de segunda generación, empleado como energía alternativa, que puede llegar a reemplazar los combustibles fósiles; sin embargo, también es empleado como potenciador de la gasolina en las industrias y en la agricultura, favoreciendo una mejor oxidación de los hidrocarburos de la gasolina y en consecuencia, se lograría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Castro & Bernal, 2012).

Señalan Botero, Castaño & Naranjo, (2011) que “el bioetanol en Colombia reemplaza 8% del consumo de combustible para transporte y representa cerca de 263.340 galones al día”, dato que refleja el crecimiento y la importancia adquirida de este tipo de biocombustible, con viabilidad de ser utilizada en procesos industriales como fuente de energía en hornos turbinas o motores. También, el bioetanol puede tener participación en la agroindustria al usarse como combustible en el transporte de mercancía. Adicionalmente, indican que el bioetanol tiene efectos positivos sobre el medio ambiente, puesto que reduce la emisión de gases tóxicos y gases de efecto invernadero; además, de minimizar la sobre-explotación de los combustibles fósiles contaminantes (Kafarov, Ojeda & Sánchez, 2007).

3.2.5. Compostaje

Como se ha mencionado, los residuos de palma africana presentan un alto contenido de materia orgánica y elementos minerales (Singh, Ibrahim & Iliayana, 2010); características que los hace valiosos en la producción de nuevos productos, como el caso del compost.

El compostaje implica la descomposición aeróbica controlada de la materia orgánica, mediada por procesos microbiológicos (bacterias, actinomicetos y hongos), dando como resultado un producto similar al humus; rico en carbono, nutrientes vegetales; libre de patógenos y semillas de maleza (Pergola *et al.*, 2018; Singh, Ibrahim & Iliayana, 2010). Esta alternativa de

reciclaje, tratamiento, eliminación y/o conversión de los residuos orgánicos de origen vegetal a compost, permite disminuir la biomasa voluminosa desde su generación hasta su disposición final; y en consecuencia, reducir las posibles afectaciones ambientales que acarrea la degradación de los ecosistemas, emisiones de gases de efecto invernadero por quema de fibra, cuesco y mesocarpio; que se atribuyen principalmente a la inadecuada gestión de los residuos (Shafawati & Siddiquee, 2013). Otros de los beneficios asociados al compost, es el mejoramiento de las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo (Sánchez, Ospina & Montoya, 2017), posibilitando recuperar suelos degradados y restaurar la fertilidad del mismo (Mohammad *et al.*, 2012, Pergola, *et al.*, 2018); aminorando costos al limitar la aplicación de insumos como pesticidas y fertilizantes (Pergola, *et al.*, 2018).

Por otra parte, señala Singh, Ibrahim & Iliayana, (2010) que el compostaje es empleado para estabilizar varios desechos industriales tales como los producidos en fábricas de papel, o en azúcar, oleo químicos, entre otros y a su vez reducir la relación volumen/peso del lodo. Del mismo modo, se logra eliminar patógenos por el calor metabólico emanado durante la fase termofílica (Sánchez, Ospina & Montoya, 2017), resultando un material provechoso en el mejoramiento de la estructura del suelo y el rendimiento de los cultivos (Anyaoha *et al.*, 2018).

Los residuos de palma como el endocarpio (cáscara de la almendra), fibras del mesocarpio y los racimos de fruta fresca (RFF) pueden ser empleados como materia prima en la producción de compost; no obstante, estos materiales lignocelulósicos, presentan estructuras complejas de lignina, hemicelulosa y celulosa (Rojas, Piñeros & Velásquez, 2011) que afecta la biotransformación y biodegradación natural de la biomasa palmera, lo que supone periodos largos de tiempo en la obtención del compost (Shafiquzzaman, Saili & Laila, 2017; Bohacz, 2017). Sin embargo, se han implementado métodos que reducen los tiempos de la biodegradación de materiales lignocelulósicos, uno de ellos, es la inoculación y adición de microorganismos específicos durante el compostaje (Sánchez *et al.*, 2017).

3.2.6. Sinergia compost-biochar

Otra alternativa en la agricultura, son los procesos sinérgicos entre el compost y el biochar. De acuerdo a Sanchez *et al.*, 2018, el biochar es un material que presenta propiedades como la porosidad, área superficial y alta capacidad de intercambio catiónico, condiciones que favorecen la humificación de la materia orgánica, el crecimiento de microorganismos, reducción de pérdidas de N y reducción de gases de efecto invernadero como el CH₄ y NH₃ emitidos en el compostaje (Sanchez *et al.*, 2018; Oldfield *et al.*, 2018). Por otra parte, la interacción del compost y el biochar, reduce el estrés por déficit hídrico. Según el estudio realizado por Sajid *et al.*, 2017 se evidenció que la combinación entre biochar, compost y microorganismos, mitigó el estrés por déficit hídrico, además del aumento significativo en la longitud del brote, la biomasa del brote, la longitud de la raíz y la biomasa de la raíz, que alcanzaron 88, 77, 89 y 74%, respectivamente.

4. CONCLUSIONES

La biomasa residual generada de la extracción del aceite de palma africana tiene impactos adversos o beneficiosos, según la disposición, tratamiento y/o aprovechamiento que prescinda darse a estos residuos. De los impactos adversos, se tiene la contaminación de fuentes hídricas debido a procesos de eutrofización que surgen por el vertimiento directo de POME en los cuerpos de agua receptoras; también se generan afectaciones al equilibrio radiactivo en la atmósfera como consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y material particulado (MP) por la quema a cielo abierto de residuos como el racimo de fruta vacía, fibras de mesocarpio y, cáscara de la almendra. Finalmente se presentan perturbaciones a los ecosistemas y afectaciones sobre la salubridad de la población.

Los residuos de palma africana pueden ser empleados como materia prima en la elaboración de productos con valor agregado en la agricultura y en las industrias. De las alternativas de aprovechamiento se reconocen los biocombustibles de segunda generación;

entre ellos se identifica el biochar, bioaceite, bioetanol, biogás, que son fuentes alternativas de energía renovable, conocidas por su incipiente impacto sobre el medio ambiente. Por otra parte, el compost, por sus propiedades, proporciona a suelos degradados condiciones favorables para su recuperación. Adicionalmente, se pueden llevar a cabo sinergias entre el compost y el biochar que contribuye a la humificación de la materia orgánica, el crecimiento de microorganismos, reducción de pérdidas de N y reducción del estrés por déficit hídrico y gases de efecto invernadero como el CH₄ y NH₃.

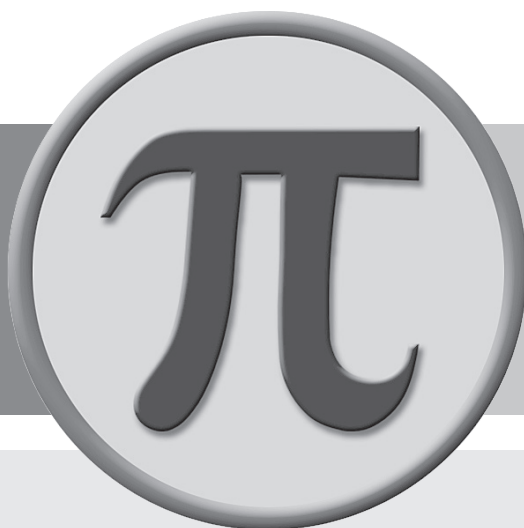
REFERENCIAS

- Abella, J., & Martínez, M. (2012). Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del lago de Tota (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 243-262. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/39372/41998>.
- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Wan Daud, W. M. A., Sahu, J. N., & Noor, I. M. (2013). Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 76, 1073-1082.
- Agudelo, B. (2017). *Estandarización de proceso de producción de carbón activado por activación física a partir de casco de palma a escala industrial* (Tesis pregrado). Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6583/1/6112759-2017-2-IQ.pdf>
- Ahmad, A. L., Sumathi, S., & Hameed, B. H. (2006). Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC. *Chemical Engineering Journal*, 118(1), 99-105.
- Alade, A. O., Jameel, A. T., Muyibi, S. A., Abdul Karim, M. I., & Alam, M. Z. (2011). Application of semifluidized bed bioreactor as novel bioreactor system for the treatment of palm oil mill effluent (POME). *African Journal of Biotechnology*, 10(81), 18642-18648.
- Anyaoa, K. E., Sakrabani, R., Patchigolla, K., & Mouazen, A. M. (2018). Critical evaluation of oil palm fresh fruit bunch solid wastes as soil amendments: Prospects and challenges. *Resources, Conservation & Recycling*, 136, 399-409.
- Arteaga V., Juan C., Arenas C., Erika, López R., David A., Sánchez L., Carlos M., & Zapata B., Zulamita. (2012). Obtención de biocombustibles producto de la pirolisis rápida de residuos de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 144-151. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n2/v10n2a17.pdf>.
- Bermúdez, D., & Camero, S. (2015). Elaboración de un plan de negocio para creación de una empresa de diseño y producción de maquinaria en el sector agropecuario. (Tesis pregrado). Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/472/elaboracion%20de%20un%20plan%20de%20negocios%20para%20creacion%20de%20una%20empresa%20de%20diseño%20y%20producción%20de%20maquinaria%20en%20el%20sector%20agropecuario%20colombiano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Bohacz, J. (2017). Lignocellulose- degrading enzymes, free-radical transformations during composting of lignocellulosic waste and biothermal phases in small-scale reactors. *Science of the Total Environment*, 580, 744-754.
- Botero Agudelo, J., Castaño Peláez, H. & Naranjo Merino, C. (2011). Life Cycle Assessment for bioethanol produced from cassava in Colombia. *Producción + Limpia*, 6(2), 69-77. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v6n2/v6n2a07.pdf>.
- Carrillo, A., & González, D. (2008). Inventario de emisiones de la zona minera del Cesar. Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/221>.
- Castillo, E. (2016). Producción de etanol celulósico a partir de las tusas de palma: perspectiva de Ecopetrol. Palmas, 37(Especial Tomo II), pp. 115-118. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/11927/11920/>.
- Castro-Martínez, C., Beltrán-Arredondo, L. I., & Ortiz-Ojeda, J. C. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética. *Ra Ximhai*, 8(3b), 93-100. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46125177010.pdf>.
- Chapa, C. & Guerrero. (2010). Eutrofización abundancia que mata. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/n/236649916_Eutrofizacion_Abundancia_que_mata.
- Chin, M. J., Poh, P. E., Tey, B. T., Chan, E. S., & Chin, K. L. (2013). Biogas from palm oil mill effluent (POME): Opportunities and challenges from Malaysia's perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 717-726.
- Choi, G.-G., Oh, S.-J., Lee, S.-J., & Kim, J.-S. (2015). Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from bio-oil and biochar derived from fast pyrolysis of palm kernel shells. *Bioresource Technology*, 178, 99-107.
- Choong, Y. Y., Chou, K. W., & Norli, I. (2018). Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(Part 3), 2993-3006. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211731403X>.
- Farid, M. A. A., Roslan, A. M., Hassan, M. A., Ujang, F.A., Mohamad, Z., Hasan, M. Y., & Yoshihito, S. (2019). Convective sludge drying by rotary drum dryer using waste steam for palm oil mill effluent treatment. *Journal of Cleaner Production*, 240(10), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117986>.

- Estupiñán, J., & Guayana, J. (2009). Análisis de los aspectos cualitativos que afectan la cadena de abastecimiento agroindustrial de la palma de aceite. Tesis pregrado, Universidad Javeriana. Recuperado de: <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/Tesis240.pdf>
- Fedepalma, (2018). El palmicultor. Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/Fedepalma/semanario-palmero/publicaciones/Boletin-El-Palmicultor-de-febrero-de-2018.pdf>
- Fedepalma, (2016). La Palma de aceite en Colombia. Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/Infografi%CC%81a%20General%20de%20COLOMBIA.pdf>
- Fedepalma (2015)). Rutas tecnológicas para el manejo integral de aguas residuales en las plantas de beneficio del sector palmero. Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/sites/all/theme/srspo/publicaciones/ambientales/Rutas-tecnologicas-para-el-manejo-integral-de-aguas-residuales-en-las-plantas-de-beneficio-del-sector-palmero.pdf>
- Gómez, L. A., Cruz-Domínguez, A., Jiménez-Madrid, D., Ocampo-Duran, A., & Parra-González, S. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 341-349. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-42262016000200011
- González, A. (2016). La agroindustria de la palma de aceite en América. *Revista Palmas*, 37(2), 215-228. Recuperado de: http://web.fedepalma.org/sites/default/files/Fedepalma/Memorias%20de%20la%20XVIII%20Conferencia%20Internacional%20sobre%20Palma%20de%20aceite/M_3_3_%20La%20agroindustria%20en%20America.pdf
- González, B., & Alvarado, P. (2017). Análisis de la producción de aceite de palma africana en el Ecuador. (Tesis pregrado). Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/23544/1/Tesis%20An%C3%A1lisis%20del%20aceite%20de%20Palma%20Africana.pdf>
- Herrera-Ruales, F. C., & Arias-Zabala, M. (2014). Producción de bioetanol por fermentación de hidrolizados hemicelulósicos de residuos de palma africana usando una cepa de *Scheffersomyces stipitis* adaptada / Bioethanol production by fermentation of hemicellulosic hydrolysates of african palm residues using an adapted strain of *Scheffersomyces stipitis*. *DYNA*, 81(185), 204-210. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v81n185/v81n185a28.pdf>
- Hossain, M. S., Omar, F., Asis, A., Jaril, Bachmann, R. T., Islam Sarker, M. Z., & Ab Kadir, M. O. (2019). Effective treatment of palm oil mill effluent using FeSO₄·7H₂O waste from titanium oxide industry: Coagulation adsorption isotherm and kinetics studies. *Journal of Cleaner Production*, 219(10), 86-98. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619304548>
- ICA (2016). Por segunda vez, el ICA amplía el plazo para registrar los predios de palma de aceite. Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/Noticias/Todas/2016/Forsegunda-vez-el-ICA-amplia-el-plazo-para-regis.aspx>
- Izah, S. C., Angaye, T. C., & Ohimain, E. (2016). Environmental Impacts of Oil Palm Processing in Nigeria. *Biotechnological Research*, 2(3), 132-141. Recuperado de: https://pdfs.semanticscholar.org/b4ac/7215adfb61c0aebfda2773111b51c709b8cc.pdf?_ga=2.49100326.1030956506.1581703101-1826683947.1581703101
- Kafarov, V., Ojeda, K., & Sánchez, E. (2007). Diseño de producción conjunta biodiesel – bioetanol. *Revista Energía y Computación*, 15(1), 9-14. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1463/1/V.15No.1-p.9-14.pdf>
- Kim, J., Realff, M.J., Lee, J.H., Whittaker, C., Furtner, L., 2011. Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. *Biomass & Bioenergy* 35, 853- 871.
- Kong, S.-H., Loh, S.-K., Bachmann, R. T., Rahim, S. A., & Salimon, J. (2014). Biochar from oil palm biomass: A review of its potential and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 729-739. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114005590>
- Mohammad, N., Alam, M. Z., Kabbashi, N. A., & Ahsan, A. (2012). Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, 58, 69-78. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911002205>
- Nadeem, S. M., Imran, M., Naveed, M., Khan, M. Y., Ahmad, M., Zahir, Z. A., & Crowley, D.E. (2017). Synergistic use of biochar, compost and plant growth-promoting rhizobacteria for enhancing cucumber growth under water deficit conditions. *Journal of the science of food and agriculture*, 91(15), 5139-5145. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28436040>
- Nafissa, A., Tabi, M., Zakil, F. A., Fauzan, W. N., Fauzai, M., Ali, N. Hassan, O. (2008.). The Usage of Empty Fruit Bunch (EfB) and Palm Pressed Fibre (Ppf) as Substrates for the Cultivation of *Pleurotus Ostreatus*. *Jurnal Teknologi*, F. 49, 189-196.
- Nasution, M. A., Wibawa, D. S., Ahamed, T., & Noguchi, R. (2018). Comparative environmental impact evaluation of palm oil mill effluent treatment using a life cycle assessment approach: A case study based on composting and a combination for biogas technologies in North Sumatera of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 184(20), 1028-1040. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618306371>
- Nieto, D., & Caballero, S. (2013). Estudio de prefactibilidad para el diseño y montaje de una planta extractor de aceite de palma en el municipio de Pivijay (Magdalena). Tesis posgrado Universidad Industrial de Santander. Recuperado de: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/150543.pdf>
- Ohimain, E. I., & Izah, S. C. (2017). A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 242-253. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116309893>

- Onifade, T. B., Wandiga, S. O., Bello, I. A., Jekanyinfa, S. O., & Harvey, P. J. (2017). Conversion of lignocellulose from palm (*Elaeis guineensis*) fruit fibre and physic (*Jatropha curcas*) nut shell into bio-oil. *African Journal of Biotechnology*, 16(46), 2167-2180. DOI: 10.5897/AJB2017.16004.
- Oldfield, T. L., Sikirica, N., Mondini, C., López, G., Kuikman, P. J., & Holden, N. M. (2018). Biochar, compost and biochar-compost blend as options to recover nutrients and sequester carbon. *Journal of Environmental Management*, 218, 465-476. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29709815>.
- Pergola, M., Persiani, A., Palese, A. M., Di Meo, V., Pastore, V., D. A. C., & Celano, G. (2018). Composting: The way for a sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, 123, 744-750. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139316306928>.
- Rettenmaier, N., Keller, H., & Reinhardt, G. A. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions of furniture and bioenergy production from oil palm trunks. *GCB Bioenergy*, 6(5), 509-520. DOI: 10.1111/gcbb.12085.
- Rincón, S. Gómez, A. & Klose, W. (2011). Gasificación de la biomasa residual de procesamiento agroindustrial. Recuperado de: <http://www.unikassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-950-4.volltext.frei.pdf>.
- Rojas Pérez, L. C., Piñeros-Castro, Y., & Velásquez Lozano, M. E. (2011). Producción de azúcares fermentables a partir de fibra prensada de palma de aceite pretratada biológicamente por *Pleurotus ostreatus* y *Phanerochaete chrysosporium*. *Revista ION*, 24(2), 29-35. Recuperado de: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/2380/2720>.
- Romero Millán, L. M., Cruz Domínguez, M. A., & Sierra Vargas, F. E. (2016). Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cusco de palma. *Revista Tecnura*, 20(48), 89-99. doi: 10.14483/udis-trital.jour.tecnura.2016.2.a06 Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371491>.
- Rupani, P.F., Singh, R.P., Ibrahim, M.H. & Esa, N. (2010.). Review of Current Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Methods: Vermicomposting as a Sustainable Practice. *World Applied Sciences Journal*, 11(1), 70-81. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.390.5998&rep=rep1&type=pdf>.
- Ruiz, D. (2017). Métodos de estimación de sólidos suspendidos totales como indicador de la calidad del agua mediante imágenes satélites. Tesis maestría Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/57367/1/2949594699.2017.pdf>.
- Samsudin, M. D. M., & Don, M. M. (2015.). Assessment of bioethanol yield by *S. cerevisiae* grown on oil palm residues: Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. *Bioresource Technology*, 175, 417-423. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241401548X>.
- Sanchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., & Bolan, N. (2018). Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology*, 247, 1155-1164. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417317698>.
- Sánchez, Ó.J.; Ospina, D.A.; Montoya, S. 2017. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management* 69: 136-153. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17305846>.
- Shafawati, S. N., & Siddiquee, S. (2013). Composting of oil palm fibres and *Trichoderma* spp. as the biological control agent: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 243-253. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830513003004>.
- Singh, R. P., Ibrahim, M. H., Esa, N., & Iliyana, M. S. (2010). Composting of waste from palm oil mill: a sustainable waste management practice. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(4), 331-344. DOI:10.1007/s11157-010-9199-2.
- Singh, R. P., Ibrahim, M. H., Esa, N., & Iliyana, M. S. (2010). Composting of waste from palm oil mill: a sustainable waste management practice. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4, 331. Recuperado de: https://www.academia.edu/2471920/Composting_of_waste_from_palm_oil_mill_a_sustainable_waste_management_practice.
- Singh, P., Sulaiman, O., Hashim, R., Peng, L. C., & Singh, R. P. (2013). Using biomass residues from oil palm industry as a raw material for pulp and paper industry: potential benefits and threat to the environment. *Environment, Development and Sustainability*, 15(2), 367-383. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-012-9390-4>.
- Soh, L. (2016). Biocombustibles de segunda generación de la biomasa de palma de aceite. Palmas, 37(Especial Tomo II), pp. 137-148. Recuperado de: http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Memorias%20de%20la%20XVIII%20Conferencia%20Internacional%20sobre%20Palma%20de%20aceite/M_2_14_%20Biocombustibles%20de%20segunda.pdf.
- Sridhar, M. K. C. & AdeOluwa, O. O. 2009. Palm Oil Industry En: Nigam, P. S and Pandey, A. (Eds.). *Residue. Biotechnology for Agro-industrial Residues Utilisation*, (pp 341-355). Springer Science. DOI: 10.1007/978-1-4020-9942-7_18.
- Tan, Y. D., & Lim, J. S. (2019). Feasibility of palm oil mill effluent elimination towards sustainable Malaysian palm oil industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 597-522.
- Thomsen, S. T., Kádár, Z., & Schmidt, J. E. (2014). Compositional analysis and projected biofuel potentials from common West African agricultural residues. *Biomass and Bioenergy*, 63, 210-217. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953414000555>.

- Van Dam, J. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Revista Palmas*, 37 (Especial Tomo II), 149-156. Recuperado de: http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Memorias%20de%20la%20XVIII%20Conferencia%20Internacional%20sobre%20Palma%20de%20aceite/M_2_15_%20Subproductos%20de%20la%20palma.pdf.



**Revista Especializada
en Tecnología
e Ingeniería**

***BIG DATA* EL NUEVO ORDEN DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

***BIG DATA* AND THE NEW ORDER OF INFORMATION AND COMMUNICATION**



Roberto Mauricio Cárdenas Cárdenas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Bogotá D.C. Colombia

Recibido: 15/02/2019 • Aprobado: 24/03/2019

RESUMEN

En el presente artículo se publican los resultados producto de una investigación descriptiva, relacionada con una de las nuevas tendencias internacionales en el manejo, ordenamiento y sistematización de la información que circula en internet. Este estudio se orientó en dos dimensiones. La primera, en relación a la revisión histórica sobre el manejo de la información y su circulación en lo que se ha llamado la era de la información, la segunda aborda el fenómeno del Big Data como una de las tendencias mundiales en el campo del manejo, tratamiento y sistematización de la información en la red. Por tratarse de una investigación descriptiva, la cual es definida como la caracterización de un evento, de un problema, de una situación que pueda ser sujeta a ser estudiada, y así conceptualizar, analizar y poder ampliar el conocimiento del evento y/o situación, se realizó una indagación, tomando como referencia los documentos publicados en textos, publicaciones seriadas artículos y revistas especializadas sobre el tema del manejo y sistematización de la información. Por tratarse de un tema de interés en el campo de la ingeniería de sistemas, se profundizó en el tema de la ingeniería de la información, reafirmando que una de las tendencias actuales en el campo de la toma de decisiones es precisamente la consulta especializada y sistematizada que en la actualidad ofrece la red internet; sin embargo esta información puede considerarse como no confiable en la medida en que sus fuentes no están actualizadas, o provienen de fuentes no seguras y/o no confiables, ocasionando en ciertos casos, que las decisiones que se tomen con base en esta información puedan resultar inciertas y ocasionar riesgos en las organizaciones. Como resultado de esta descripción, al final se muestran resultados sobre la base de las consultas “Big Data” o el análisis de grandes datos y los aportes que esta tendencia brinda a las comunidades de investigadores para la realización de estudios confiables sobre la base del manejo y sistematización de la información.

Palabras clave: análisis, datos, información, sistematización, tecnologías de información y comunicación.

ABSTRACT

This study was oriented in two dimensions. The first, in relation to the historical review of information management and its circulation in what has been called the information age, the second part addresses the phenomenon of Big Data as one of the global trends in the field of information. Management, treatment, systematization of the information in

¹ roberto.cardenas@unad.edu.co, orcid.org/0000-0001-6263-3725

the network. Because it is a descriptive investigation, which is defined as the characterization of an event, a problem, a situation that can be subject to be studied, to be able to generate its structure, its operation and its behavior, and thus conceptualize, analyze And to be able to expand the knowledge of the event and / or situation, an inquiry was made, taking as reference the documents published in specialized magazines on the subject of the management and systematization of the information, since it is a subject of great interest in the field of Systems engineering, the subject of information, reaffirming that one of the current trends in the field of decision making is precisely the specialized and systematized consultation that currently provides the internet, however this information open, can be considered as unreliable to the extent that its sources Are not updated, or simply come from unsafe and / or unreliable sources, causing, in certain cases, decisions made based on this information to be uncertain and to cause risks in organizations. As a result of this description, the results are shown on the basis of the "Big Data" consultations or the analysis of large data and the contributions that this trend provides to the communities of researchers for reliable studies based on the management and systematization of information.

Keywords: *analysis, data, information, information and communication, systematization.*



1. INTRODUCCIÓN

El uso de las tecnologías de información y la comunicación (TIC), a nivel masivo, la producción de contenidos y la publicación de los mismos, la obsolescencia del conocimiento, y el desarrollo algebraico de la información y de su circulación, han generado entre las comunidades académicas una tendencia orientada hacia el estudio sobre el tratamiento de la información, y de aquella que se registra en internet, que pueda ser estudiada, sistematizada, analizada y aplicada al análisis de problemas de la sociedad actual y de las sociedades futuras, mediante una metodología que permita la toma de decisiones y el moldeamiento de escenarios a partir de la formulación de tendencias y de prospectivas.

Analizando la herramienta o tecnología *big data*, Desde nuestra visión de educadores, nos hacemos esta pregunta: ¿podemos percibir a la tecnología *Big Data*, como una herramienta útil en nuestras tareas diarias? Yo respondería sí, ya que esta tecnología es aplicable a todos los campos cuantificables, por ejemplo, podríamos tomar estadísticas de visitas a los temas que más le interesaron a los estudiantes. Así, utilizamos esta tecnología para mejorar los servicios y tomar buenas decisiones desde el área que se requiera.

También se puede utilizar para desarrollar los CMS de educación, en la medida que algunos de ellos van enfocados hacia el manejo de la información eficiente y altamente funcional, por lo que vemos que los MVC (Modelo Vista Controlador), van enfocados hacia esta tecnología, para el manejo de la información en bases de datos funcionales de alto almacenamiento y de gran velocidad (Pantoja & Pardo, 2016).

Big data es comprendido para este estudio, como el resultado de la generación de la variedad, del volumen y de la velocidad de datos estructurados y no estructurados que forman parte de la información que circula en internet. El concepto data, es aplicado al volumen de información que, por sus características, no puede ser procesado, y menos analizado, por métodos tradicionales. Son "cantidades masivas de datos que se acumulan con el tiempo que son difíciles de analizar y manejar utilizando herramientas comunes de gestión de bases de datos" (ZDNet, 2014).

Kusnetzky (2014), señala, con respecto al *big data*, que al utilizar este término se refiere de manera directa tanto a las herramientas como a los procedimientos que permiten que una organización cree, manipule y

administre volúmenes de datos con sus respectivas instalaciones de almacenamiento.

También se define el *Big Data* como las técnicas y las herramientas que hacen que la información sea económica y orientada para hacer frente a los datos a una escala extrema. El manejo de los volúmenes de información es abordado en tres condiciones: 1) Las técnicas y la tecnología, lo que significa que la empresa tenga personal, el cual tenga gran representación y análisis de datos para tener un valor agregado con información que no ha sido manejada. 2) Escala extrema de datos que supera a la tecnología actual debido a su volumen, velocidad y variedad. 3) El valor económico, hace que las soluciones sean aplicadas y sirvan como base para el éxito en la inversión y los negocios Kusnetzky (2014).

Por su parte, Medina y Chaparro, en su artículo para la revista de tecnología de la UNAD, nos hablaban sobre las aplicaciones en general, incluyendo las educativas, que en la actualidad no comenzaban desde cero, si no que eran una serie de filtros de datos relativos que a través del tiempo se iban consolidando para así tener un mejor desarrollo de las nuevas aplicaciones web, por lo que se puede concluir que esta tecnología ya tenía lineamientos desde los primeros desarrollos informáticos del ser humano y así se expandió a la educación para hacerla aplicable.

Por su parte, Gartner (2014) aborda una definición del concepto como: “el volumen, velocidad y variedad de información que demanda formas costeables e innovadoras de procesamiento de información permitiendo el lanzamiento de ideas extendidas, de toma de decisiones y de automatización del proceso”. En otras palabras, consolidar toda la información de una organización y ponerla al servicio de sus necesidades.

Desde otra perspectiva, el Foro Económico Mundial (WEF, 2012), se refiere a este movimiento en el sentido de otorgarle la condición de la información y su manejo para ser aplicado a sectores como los financieros, educativos, de salud y de agricultura entre otros.

Respecto a los servicios financieros, se trata de incorporarlos a los dispositivos móviles para obtener de los usuarios información personal en temas como el gasto y los hábitos de ahorro tanto a nivel local como a nivel internacional. En el campo educativo es orientado al conocimiento del sector, sus dinámicas y sobre todo en las posibilidades de ampliar la cobertura y la calidad de la educación, para permitir el ingreso de una mayor cantidad de estudiantes a las instituciones educativas en el orden de la m-learning. En áreas de la salud para generar estadísticas, tendencias, reincidencias de enfermedades y en los sistemas de telesalud. En el área de la agricultura, permitirá el estudio sobre las tendencias de producción de alimentos tanto a nivel regional como a escala internacional.

En términos generales este movimiento y su relación con el manejo de la información representan para las organizaciones una gran fuente de conocimiento, en lo que se ha denominado la ciencia de la información. En el desarrollo de este trabajo veremos a profundidad aspectos que hasta ahora han sido significativos para considerar el movimiento de *Big Data* como una representación de una tendencia hacia el manejo, sistematización y utilización de la información en las organizaciones para su crecimiento y expansión.

2. SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN – SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), se ha incrementado notablemente la circulación de información a través de internet, esta información de baja, mediana y alta complejidad, forma parte de una macrotendencia llamada en su momento la sociedad de la información; como una de las expresiones orientadas hacia la consolidación de la globalización contemporánea.

El término Sociedad de la Información ha ganado presencia en Europa, en donde ha sido muy empleado en la construcción del contexto para la Unión Europea (Trejo, 1996). Un estudio elaborado con el propósito de documentar los avances europeos al respecto

señala: "Las sociedades de la información se caracterizan por basarse en el conocimiento y en los esfuerzos por convertir la información en conocimiento. Cuanto mayor es la cantidad de información generada por una sociedad, mayor es la necesidad de convertirla en conocimiento. Otra dimensión de tales sociedades es la velocidad con que tal información se genera, transmite y procesa. En la actualidad, la información puede obtenerse de manera prácticamente instantánea y, muchas veces, a partir de la misma fuente que la produce, sin distinción de lugar. Finalmente, las actividades ligadas a la información no son tan dependientes del transporte y de las concentraciones humanas como de algunas de las actividades comerciales e industriales. Esto permite un reacondicionamiento espacial caracterizado por la descentralización y la dispersión de las poblaciones y servicios" (Trejo, 1996).

La sociedad de la información y del conocimiento es una realidad, solo que el movimiento del *Big Data*, ha generado una tercera ola, en el sentido de poder centrar su esfuerzo en la consolidación de una cultura global frente a la sistematización y análisis de la información, orientada al desarrollo de las organizaciones y en general a la producción de nuevos desarrollos que permitan afianzar los modelos económicos y/o generar transformaciones en las organizaciones con miras a consolidarlas en el marco mismo de la globalidad.

Este proceso comienza desde un algoritmo, desde un bit, y va hasta el conjunto de bases de datos más grande del mundo, lo que permite que la mayor parte de las cosas esté al alcance de la mano, así como su control. Esto implica que podamos utilizar estas herramientas para el desarrollo más simple de las nuevas sociedades, para la administración de procesos eficientes y eficaces, para lo cual el *Big Data* tiene muy presente el proceso de los mejores algoritmos (Chaves, 2013).

El desarrollo de las sociedades actuales se debe en parte a la generación de nuevo conocimiento, la expansión del mismo y el manejo de las fuentes de información. En este sentido, la información puede derivar en conocimiento, sin embargo, la generación de información y la consecuente producción de conocimiento ha

sido posible por las políticas desplegadas por los Estados para extender los beneficios de la Sociedad de la Información; este concepto fue reconocido por la Unión Europea y consolidado en el documento "Libro Verde" (Europea, 2003), el cual tiene en la actualidad plena vigencia y ha sido tomado como referente teórico conceptual en el sentido de garantizar la posibilidad del libre acceso de todas las personas a la información y en particular las condiciones de responsabilidad social empresarial que deben ser tenidas en cuenta y su relación con el manejo de la información.

Sobre este aspecto vale la pena destacar los siguientes elementos "Estamos viviendo un período histórico de cambio tecnológico, consecuencia del desarrollo y de la aplicación creciente de las tecnologías de la información y de la comunicación TIC. Este proceso es diferente y más rápido que cualquiera que hayamos presenciado hasta ahora. Alberga un inmenso potencial para la creación de riqueza, elevar el nivel de vida y mejorar los servicios. Las TIC ya forman parte integrante de nuestra vida cotidiana, nos proporcionan instrumentos y servicios útiles en nuestro hogar, en nuestro lugar de trabajo, por todas partes. La sociedad de la información no es la sociedad de un futuro lejano, sino una realidad de la vida diaria, una nueva mirada de la sociedad como la conocemos ahora, una nueva dimensión de gran importancia para la consolidación de sociedades avanzadas y fortalecidas en su ciudadanía. Para este caso es necesario resaltar que para generar bienes y para generar servicios se hace cada vez más necesaria la toma de decisiones a partir del conocimiento y de la información. Sin embargo es importante plantearse preguntas fundamentales como: ¿no destruirán estas tecnologías más empleos de los que crean?, ¿Las personas serán capaces de adaptarse a los nuevos modos de trabajar? ¿Aumentarán los desequilibrios entre las zonas industrializadas y las menos desarrolladas, entre los jóvenes y los viejos, entre los que están enterados y aquellos que no lo están? Para dar respuesta a estos cuestionamientos se hace necesario profundizar sobre las políticas públicas orientadas al aseguramiento del acceso equitativo a la sociedad de la información y la distribución justa del potencial de prosperidad"

Méndez et al. (2014) señala como la utilización de los buenos datos y parametrización, logran posicionar y dar importancia a un sitio web, aplicación o sistema de información, por lo que es importante tener en cuenta como la tecnología Big Data, nos ayuda a mostrar lo verdaderamente relevante, así hayan demasiados datos, se hace una extracción y se mejoran los procesos.

Para Castells, "el término sociedad de la información destaca el papel de esta última en la sociedad" (2002a). Sin embargo el mismo autor se refiere a la *sociedad informacional*, y en ese sentido advierte: "La información, es decir, como comunicación del conocimiento, ha sido fundamental en todas las sociedades, incluida la Europa medieval, que estaba culturalmente estructurada y en cierta medida unificada en torno al escolasticismo, esto es, en conjunto, un marco intelectual... En contraste, el término informacional indica el atributo de una forma específica de organización social en la que la generación, el procesamiento y la transmisión de la información se convierten en las fuentes fundamentales de la productividad y el poder, debido a las nuevas condiciones tecnológicas que surgen en este periodo histórico" (Castells, 2012b).

En general la sociedad de la información se caracteriza por ser un periodo en el cual se genera una inmensa cantidad de datos que son difundidos a través de la red de internet, esta red se convierte así en la herramienta de difusión de esta información y la capacidad para lograr ser irradiada a amplias capas de la población. Ahora la pregunta ¿Qué hacer con esa información?, ¿La información que circula en la red es confiable?, ¿Es posible utilizar esta información para la toma de decisiones?, ¿Existe información e información cerrada? Estos cuestionamientos permiten evidenciar que la información circulante puede ser resultado del desarrollo de nuevo conocimiento, generado a su vez por los investigadores y los resultados de sus investigaciones.

3. *BIG DATA* Y EL TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Uno de los factores más destacados y que forma parte de los cambios observados en el presente siglo es precisamente el correspondiente acceso a la información de una forma sin precedentes. Permanentemente se generan datos a través de múltiples aplicaciones y de herramientas que permiten el desplazamiento de estos en redes que soportan cantidades ilimitadas de información, y que en la actualidad son utilizadas por las organizaciones, para generar y ampliar mercados y negocios a nivel local e internacional.

Las actividades comerciales y financieras, educativas, sociales (redes sociales), culturales, políticas y económicas en general, son generadas de manera permanente y forman parte de la vida común de las personas, advirtiendo que esta información puede ser presentada no solamente en formatos y bases de datos estructurados (tradicionales), sino también en formatos de que contienen la integración de los medios (video, voz, audio, texto), lo mismo que el posicionamiento y ubicación geográfica, en tiempo real. Quiere decir que las organizaciones pueden tener acceso y disponer de esta información de manera simultáneamente en que ésta se genere.

Según IBM las soluciones *Big Data* se distinguen de las soluciones TIC tradicionales considerando cuatro dimensiones:

- **Volumen:** las soluciones *Big Data* deben gestionar y procesar cantidades mucho mayores de datos.
- **Velocidad:** las soluciones *Big Data* deben procesar datos que llegan a mayor velocidad.
- **Variedad:** *Big Data* debe encargarse de más tipos de datos, tanto estructurados como desestructurados.
- **Veracidad:** las soluciones *Big Data* deben validar la corrección de la gran cantidad de datos que llegan a gran velocidad (IBM, 2015).

4. APLICACIONES *BIG DATA*

Uno de los factores diferenciales que puede generar toma de decisiones por parte de una organización, es precisamente el manejo, la sistematización de información, aquella organización que tenga la cualidad de diseñar modelos que permitan la obtención de información confiable, posee las condiciones necesarias para la toma de decisiones, en la medida en que esté mayor y mejor documentada, sus potenciales competidores van a estar en inferioridad de condiciones.

Esto puede incidir de manera directa en la vida de las empresas y en los factores de competitividad de las mismas. Esto hace referencia a usar la información; aplicarla a la configuración de escenarios posibles en lo que se ha llamado en el contexto de la investigación: investigación en prospectiva, que se refiere que a partir de los datos se pueden diseñar los escenarios deseados y las condiciones para poder llegar a ellos. Investigaciones sobre el tema del flujo de información arrojan que en un día se pueden crear 2.5 quintillones de bytes, por lo que se afirmaría entonces que en la última década se han creado el 85% de los datos, los cuales provienen de post, blogs, fotos, videos, textos, comentarios, señales de dispositivos móviles y en general de todo tipo de datos que se producen desde un dispositivo.

En el sistema de tratamiento de información de gran escala ha sido necesario diseñar por parte de la ingeniería de sistemas, que para este caso puede ser considerada como la ingeniería estadística, nuevas herramientas que permiten la sistematización de la información, entre otras: MapReduce, Hadoop, NoSQL o *cloud computing*.

Finalmente, el *Big Data* se ha convertido en el próximo recurso natural que explotar; y esto representa por un lado un gran reto, pero también una oportunidad para las organizaciones que sepan sacar provecho de estos datos. Para sumarse a esta oportunidad, se deben adoptar soluciones *Big Data* para proporcionar capacidades analíticas y ser convertirlas en conocimiento mejorando la gestión y la toma de decisiones (Hopkins, 2011).

5. CONCLUSIONES

En general el modelo de sistematización de grandes volúmenes de información puede resumirse en tres grandes acciones:

Recopilar, sistematizar y gestionar datos

- Acceder y explorar fuentes de datos.
- Procesar distintos tipos de datos: sensorización, aplicaciones, redes sociales, video texto, audios, etc.
- Aumentar la interoperabilidad entre los sistemas existentes.
- Gestionar los aspectos de seguridad y privacidad de datos.

Transformar datos e información en sistemas de conocimiento y de inteligencia sujeta a ser procesable y analizada.

- Mejorar el conocimiento de la situación.
- Proporcionar visión operacional común y unificada.
- Proporcionar información relevante en tiempo real a los diferentes niveles de gestión y operación.
- Generar capacidades de análisis para determinar condiciones y tendencias y así poder prevenir incidencias y situaciones de emergencia.

Generar respuestas y producir acciones pertinentes

- Una alternativa para notificar a los sistemas del envío de recursos al lugar de la incidencia:
- Colaboración en tiempo real
- Protocolos de actuación
- Incrementar la prevención
- Despliegue de recursos necesarios
- Incrementar la velocidad de respuesta
- Reducir ineficiencias
- Mejorar la transparencia
- Ampliar la participación de los ciudadanos
- Modelar escenarios posibles

REFERENCIAS

- Castells, M. (2002a). *La dimensión cultural de Internet*. Madrid: Universitat Oberta de Catalunya.
- Castells, M. (2002b). *La era de la información: economía, sociedad y cultura: la sociedad red*. México D.F.: Siglo XXI.
- Chaves, A. (2013). Validación de herramienta de edición y verificación de algoritmos mediante diagramas N-S. *Publicaciones e investigación*, 7. Consultado en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1109>
- Esade (2003). *Libro verde*. Consultado en: www.esade.es/acrobat/doctorado/libroverdeok.pdf
- Europea, C. (2003). Information. Eur-lex. Consultado en: «<http://europa.eu.int/eur-lex/es/information/faq.html>
- Gartner IT (2014). Data Center. Gartner.com. Consultado en: www.gartner.com/events/emea/data-center
- Hopkins, B. (2011). *Beyond the Hype of Big Data*. Consultado en: http://www.cio.com/article/692724/Beyond_the_Hype_of_Big_Data,» 26 05 2011
- IBM (2015). Performance and Capacity. *Redpaper publication*, 3(5), consultado en: <http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/redp5070.html?Open>
- Kusnetzky, D. (2014). The 7-Layer Virtualization Model. Consultado en: <http://insightaas.com/dan-kusnetzky-the-7-layer-virtualization-model/>
- Medina, A. Chaparro, M. (2013). Desarrollo de aplicaciones web por componentes – código libre. *Publicaciones e investigación*, 7. Consultado en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1092>
- Méndez, Y., Collazos, C., Granollers, T. & Gil, R. (2014). Propuesta de valoración del comportamiento como complemento a la evaluación emocional de los usuarios mientras interactúan con sitios web. *Publicaciones e investigación*, 8. Consultado en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1299>
- Pantoja, L. & Pardo, C. (2016). Evaluando la facilidad de aprendizaje de frameworks MVC en el desarrollo de aplicaciones web. *Publicaciones e investigación*, 10. Consultado en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1592/1939>
- Tendencias21 (1995). Trabajo. *Tendencias21*. Consultado en: www.tendencias21.net/trabajo/
- Trejo, R. (1996). *La nueva alfombra mágica. Usos y mitos de Internet, la red de redes*. Madrid: Fundesco.
- World Economic Forum, WEF. (2012). *Big Data, Big Impact: New Possibilities for International Development*. Consultado en: www.weforum.org/reports/big-data-big-impact-new-possibilities-international-development/
- ZDNet.com (2014). *What is "Big Data"?* ZDNet.com, CBS Interactive, Consultado en: <http://www.zdnet.com/topic-big-data/>

Lineamientos Generales

DESCRIPCIÓN GENERAL

La Revista Especializada en tecnología e ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, tiene una periodicidad de publicación semestral; publica artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las diferentes áreas de tecnología e ingeniería.

La Revista tiene como objetivo facilitar la divulgación del conocimiento científico y aplicado en temas de ingeniería; así como incentivar la visibilidad e impacto de la investigación desarrollada en el ámbito nacional e internacional en las áreas de la ingeniería de manteniendo como propósito la construcción de redes de conocimiento.

Para efectos de publicación, se reciben las siguientes clases de documento:

- Artículos resultados de avance parcial o final de proyectos de investigación en el área de la ingeniería o, en el desarrollo de herramientas pedagógicas para la enseñanza de la ingeniería.
- Artículos de reflexión, documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor sobre un tema específico.
- Estados del arte o artículos de revisión, definido por Colciencias como aquél escrito que sistematiza y analiza los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo del conocimiento.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS

Los artículos sometidos a publicación deben ser originales o inéditos, no estar postulado para publicación simultáneamente en otras revistas y se debe entregarse con carta donde conste la originalidad, firmada por los autores.

POSTULACIÓN DEL ARTÍCULO

El envío de su artículo se efectuará por correo electrónico a la dirección: **publicaciones.investigacion@unad.edu.co** con la sesión de derechos y la hoja de vida de los autores en los formatos establecidos para tal fin.

Los artículos producto de investigación no deben exceder de 12 páginas y los review de máximo 20 páginas tamaño carta, a espacio sencillo con márgenes de 3.0 cm a cada lado, fuente para todo el artículo Times New Roman, tamaño 11 puntos y bajo las normas Harvard establecidas.

PROCESO DE EVALUACIÓN

La evaluación, revisión, dictamen o arbitraje de los artículos postulados para publicación deben cumplir las siguientes indicaciones:

- Todo original será sometido al proceso de dictamen, bajo la modalidad de pares doble ciego y una valoración preliminar por el Comité Editorial de la Revista, con el fin de calificar el documento, en cuanto a forma, contenido y cumplimiento de normas de publicación.
- Posterior a esto se enviará el artículo a dos pares ciegos especialistas en el área del artículo. Una vez evaluado y aprobado el documento, se remitirá a los autores para que se realicen las correcciones o aclaren aspectos surgidos del proceso de evaluación.
- El documento debe ser devuelto con los ajustes, para continuar con el proceso de corrección de estilo y posterior edición.
- En el eventual caso de amplias discrepancias en los resultados de la evaluación, el Comité Editorial tomará la decisión final de aceptación o rechazo del mismo. La aceptación definitiva dependerá de las modificaciones que los pares evaluadores propongan al autor y el concepto del Comité Editorial.
- El Comité Editorial se reserva el derecho de introducir modificaciones formales, necesarias para adaptar el texto a las normas de publicación. De no ser aprobado el artículo en la evaluación preliminar o en la evaluación por pares ciegos, se comunicará a los autores la decisión y los motivos de rechazo de la comunicación.

OPEN JOURNAL SYSTEM

Consulte on-line la revista en

<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion>

Instrucciones para presentar artículos

Los artículos producto de investigación deben tener máximo de 12 páginas y los review máximo 20 páginas tamaño carta, a espacio sencillo con márgenes de 3.0 cm a cada lado, fuente para todo el artículo Times New Roman, tamaño 11 puntos y bajo las normas Harvard.

1. CONTENIDO EL DOCUMENTO

El artículo contiene unos aspectos formales para su presentación relacionados a continuación:

1.1. Título

El título principal del artículo debe estar en español e inglés; Fuente Times New Roman tamaño 14.

1.2. Detalles del Autor(es)

El nombre del autor o Autores debe estar escrito de acuerdo a la forma de citación orcid, centrado, fuente tamaño 11 puntos y negrilla.

1.3. Filiación del Autor(es)

La Universidad o entidad de afiliación, Escuela, Ciudad y País en fuente tamaño 11 puntos y cursiva, los correos y el orcid en tamaño 10 puntos en fuente tipo Courier; Entidad que financia el proyecto (de existir).

1.4. Resumen

El resumen se debe presentar en español e inglés: que no exceda 250 palabras y que describa sistemáticamente el contenido del artículo.

1.5. Figuras y Tablas

Las figuras y tablas deben estar centradas en la columna. Si la figura es muy larga, se puede extender hasta ocupar el espacio de las dos columnas. Cualquier figura o tabla que se extienda más de una columna, pero no ocupe el espacio de las dos columnas debe estar centrada

Los gráficos deben estar en color, de preferencia utilice colores estándar (rojo, azul, verde, amarillo) de manera que puedan ser reproducidos en cualquier sistema, las fotografías deben estar en jpg tif ,eps ps,. png.)

Toda figura debe acompañarse de un título en letra de tamaño de 9 puntos, que inicia con

la abreviatura “Fig.” para indicar “Figura” y un número de secuencia.

El nombre de la figura se utiliza centrado en la columna, o página si la figura se extiende fuera de la columna. Si la descripción se extiende más de una línea, se debe mostrar de forma justificada, como en Fig. 1.

1.6. Palabras clave

Las palabras clave deben estar en español e inglés y cursiva, máximo diez palabras clave que den una idea de los temas fundamentales que se encuentran en el artículo. Estas palabras deben ir ordenadas alfabéticamente separadas por comas. Para estandarizar las palabras clave se sugiere buscarla en el siguiente hipervínculo, https://www.ieee.org/documents/taxonomy_v101.pdf



Fig. 1 El ejemplo de un gráfico con colores sólidos que resaltan sobre el fondo blanco.

1.7. Tablas

El título y contenido de las tablas en tamaño 9 puntos.

TABLA 1
Tamaño y fuentes para artículos

Tamaño	Fuente (Times new Roman)		
	Regular	Negrita	Cursiva
14	TÍTULO DEL ARTICULO	negrita	
11	Nombre del autor	negrita	
11	Filiación de los autores		cursiva
10	Correo electrónico (fuente Courier)		
11	Contenido	(Times new Roman)	
11	TITULOS	negrita	
11	Subtítulos	negrita	cursiva
11	Resumen	Cuerpo del Resumen	
11	<i>Abstrac</i>	<i>Cuerpo del abstrac cursiva</i>	cursiva
9	Título de figuras	Negrita solo Fig. No	
9	Título y contenido de tablas	Minúscula negrita solo Tabla No.	negrita
9	Referencias bibliográficas	Referencias	

1.8 Aspectos formales y estructura del artículo

1.8.1 Introducción

En esta sección se incluye una presentación general del tema, lo que el experimento o estudio intenta demostrar; la hipótesis con relación al estado del arte, se debe presentar una visión general de los resultados obtenidos. Problema de investigación y método: planteamiento del problema de investigación y síntesis del enfoque metodológico. Técnicas y estrategias de recolección y análisis de la información (según el caso).

1.8.2 Desarrollo de contenido

En esta sección se desarrollan los contenidos del tema de manera ordenada y secuencial con letras mayúsculas.

Subtítulos

En esta sección se describen temas detallados que forman parte del título principal

Estilo del artículo

El artículo debe presentarse a dos columnas

Viñetas

Si es necesario el uso de viñetas debe utilizarlas siguiendo las instrucciones

- Cuando desea mencionar varias cosas dentro de un tema de un subtítulo
- Cuando necesite crear niveles en una sección utilice las siguientes normas

Primer Nivel. El primer nivel corresponde al de título, por tanto debe estar centrado, numerado con números arábigos y todas las letras en mayúscula.

Segundo Nivel. Un segundo nivel corresponde al subtítulo. Deben estar numerados usando números arábigos seguido por un punto y alineados a la izquierda y en cursiva.

Tercer nivel. Un tercer nivel es el número del título, seguido por el número del subtítulo y el número que corresponda en el nivel separados por comas. Utiliza letra cursiva y negrita, con números arábigos. El cuerpo del ítem debe estar inmediatamente después del encabezado, sin saltos de línea.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados deben ser presentados objetivamente en forma de gráficos y/o tablas, de ser posible en forma comparativa. Según sea el caso del tipo de artículo.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Lo principal de esta sección es presentar los principales resultados, fundamentados en los objetivos y en la teoría, deben manejarse como enunciados cortos.

RECONOCIMIENTOS

Esta sección no es de carácter obligatorio obligatoria y se coloca los agradecimientos a personas que colaboraron en el desarrollo del proyecto pero que no figuran como autores. No debe ir numerado.

REFERENCIAS AL FINAL DEL TEXTO

Esta sección no debe tener numeración y todas las referencias se hacen en letra de 9 puntos La lista de las obras citadas se incluye al final del artículo. Se debe referenciar en orden alfabético, según la guía de Norma Harvard <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/administration-and-support-services/library/public/Harvard.pdf>

LISTA DE AUTORES

LIST OF AUTHORS



	PAG.
Adriana Herrera	23
Andrés Leonardo Vanegas Escudero	77
Daniel Serrano	51
Francy Méndez Casallas	41
González Rodríguez Hernando	41
Jairo Gutiérrez	51
Juan Camilo Tejada	31
Jenifer Giraldo Toro	41
Johana Herrera	23
L. Plazas Pemberthy	11
Leinis León	23
Luz Flórez	51
Martha Cuenca	23
N. Paz Ruiz	11
Natalia Cano	23
Nicolás Girón Cuervo	61
Oscar Alberto Jaramillo	31
Raúl Camacho Briñez	31
Roberto Mauricio Cárdenas Cárdenas	93
Yusleivis Torres	23

Lineamientos Generales

DESCRIPCIÓN GENERAL

La Revista Especializada en tecnología e ingeniería, órgano de divulgación científica de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, tiene una periodicidad de publicación semestral; publica artículos originales evaluados bajo la modalidad de pares doble ciego en temas de las diferentes áreas de tecnología e ingeniería.

La Revista tiene como objetivo facilitar la divulgación del conocimiento científico y aplicado en temas de ingeniería; así como incentivar la visibilidad e impacto de la investigación desarrollada en el ámbito nacional e internacional en las áreas de la ingeniería de manteniendo como propósito la construcción de redes de conocimiento.

Para efectos de publicación, se reciben las siguientes clases de documento:

- Artículos resultados de avance parcial o final de proyectos de investigación en el área de la ingeniería o, en el desarrollo de herramientas pedagógicas para la enseñanza de la ingeniería.
- Artículos de reflexión, documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor sobre un tema específico.
- Estados del arte o artículos de revisión, definido por Colciencias como aquél escrito que sistematiza y analiza los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo del conocimiento.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS

Los artículos sometidos a publicación deben ser originales o inéditos, no estar postulado para publicación simultáneamente en otras revistas y se debe entregarse con carta donde conste la originalidad, firmada por los autores.

POSTULACIÓN DEL ARTÍCULO

El envío de su artículo se efectuará por correo electrónico a la dirección: **publicaciones.investigacion@unad.edu.co** con la sesión de derechos y la hoja de vida de los autores en los formatos establecidos para tal fin.

Los artículos producto de investigación no deben exceder de 12 páginas y los review de máximo 20 páginas tamaño carta, a espacio sencillo con márgenes de 3.0 cm a cada lado, fuente para todo el artículo Times New Roman, tamaño 11 puntos y bajo las normas Harvard establecidas.

PROCESO DE EVALUACIÓN

La evaluación, revisión, dictamen o arbitraje de los artículos postulados para publicación deben cumplir las siguientes indicaciones:

- Todo original será sometido al proceso de dictamen, bajo la modalidad de pares doble ciego y una valoración preliminar por el Comité Editorial de la Revista, con el fin de calificar el documento, en cuanto a forma, contenido y cumplimiento de normas de publicación.
- Posterior a esto se enviará el artículo a dos pares ciegos especialistas en el área del artículo. Una vez evaluado y aprobado el documento, se remitirá a los autores para que se realicen las correcciones o aclaren aspectos surgidos del proceso de evaluación.
- El documento debe ser devuelto con los ajustes, para continuar con el proceso de corrección de estilo y posterior edición.
- En el eventual caso de amplias discrepancias en los resultados de la evaluación, el Comité Editorial tomará la decisión final de aceptación o rechazo del mismo. La aceptación definitiva dependerá de las modificaciones que los pares evaluadores propongan al autor y el concepto del Comité Editorial.
- El Comité Editorial se reserva el derecho de introducir modificaciones formales, necesarias para adaptar el texto a las normas de publicación. De no ser aprobado el artículo en la evaluación preliminar o en la evaluación por pares ciegos, se comunicará a los autores la decisión y los motivos de rechazo de la comunicación.

OPEN JOURNAL SYSTEM

Consulte on-line la revista en

<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion>

Instrucciones para presentar artículos

Los artículos producto de investigación deben tener máximo de 12 páginas y los review máximo 20 páginas tamaño carta, a espacio sencillo con márgenes de 3.0 cm a cada lado, fuente para todo el artículo Times New Roman, tamaño 11 puntos y bajo las normas Harvard.

1. CONTENIDO EL DOCUMENTO

El artículo contiene unos aspectos formales para su presentación relacionados a continuación:

1.1. Título

El título principal del artículo debe estar en español e inglés; Fuente Times New Roman tamaño 14.

1.2. Detalles del Autor(es)

El nombre del autor o Autores debe estar escrito de acuerdo a la forma de citación orcid, centrado, fuente tamaño 11 puntos y negrilla.

1.3. Filiación del Autor(es)

La Universidad o entidad de afiliación, Escuela, Ciudad y País en fuente tamaño 11 puntos y cursiva, los correos y el orcid en tamaño 10 puntos en fuente tipo Courier; Entidad que financia el proyecto (de existir).

1.4. Resumen

El resumen se debe presentar en español e inglés: que no exceda 250 palabras y que describa sistemáticamente el contenido del artículo.

1.5. Figuras y Tablas

Las figuras y tablas deben estar centradas en la columna. Si la figura es muy larga, se puede extender hasta ocupar el espacio de las dos columnas. Cualquier figura o tabla que se extienda más de una columna, pero no ocupe el espacio de las dos columnas debe estar centrada

Los gráficos deben estar en color, de preferencia utilice colores estándar (rojo, azul, verde, amarillo) de manera que puedan ser reproducidos en cualquier sistema, las fotografías deben estar en jpg tif ,eps ps,. png.)

Toda figura debe acompañarse de un título en letra de tamaño de 9 puntos, que inicia con

la abreviatura “Fig.” para indicar “Figura” y un número de secuencia.

El nombre de la figura se utiliza centrado en la columna, o página si la figura se extiende fuera de la columna. Si la descripción se extiende más de una línea, se debe mostrar de forma justificada, como en Fig. 1.

1.6. Palabras clave

Las palabras clave deben estar en español e inglés y cursiva, máximo diez palabras clave que den una idea de los temas fundamentales que se encuentran en el artículo. Estas palabras deben ir ordenadas alfabéticamente separadas por comas. Para estandarizar las palabras clave se sugiere buscarla en el siguiente hipervínculo, https://www.ieee.org/documents/taxonomy_v101.pdf



Fig. 1 El ejemplo de un gráfico con colores sólidos que resaltan sobre el fondo blanco.

1.7. Tablas

El título y contenido de las tablas en tamaño 9 puntos.

TABLA 1
Tamaño y fuentes para artículos

Tamaño	Fuente (Times new Roman)		
	Regular	Negrita	Cursiva
14	TÍTULO DEL ARTICULO	negrita	
11	Nombre del autor	negrita	
11	Filiación de los autores		cursiva
10	Correo electrónico (fuente Courier)		
11	Contenido	(Times new Roman)	
11	TITULOS	negrita	
11	Subtítulos	negrita	cursiva
11	Resumen	Cuerpo del Resumen	
11	<i>Abstrac</i>	<i>Cuerpo del abstrac cursiva</i>	cursiva
9	Título de figuras	Negrita solo Fig. No	
9	Título y contenido de tablas	Minúscula negrita solo Tabla No.	negrita
9	Referencias bibliográficas	Referencias	

1.8 Aspectos formales y estructura del artículo

1.8.1 Introducción

En esta sección se incluye una presentación general del tema, lo que el experimento o estudio intenta demostrar; la hipótesis con relación al estado del arte, se debe presentar una visión general de los resultados obtenidos. Problema de investigación y método: planteamiento del problema de investigación y síntesis del enfoque metodológico. Técnicas y estrategias de recolección y análisis de la información (según el caso).

1.8.2 Desarrollo de contenido

En esta sección se desarrollan los contenidos del tema de manera ordenada y secuencial con letras mayúsculas.

Subtítulos

En esta sección se describen temas detallados que forman parte del título principal

Estilo del artículo

El artículo debe presentarse a dos columnas

Viñetas

Si es necesario el uso de viñetas debe utilizarlas siguiendo las instrucciones

- Cuando desea mencionar varias cosas dentro de un tema de un subtítulo
- Cuando necesite crear niveles en una sección utilice las siguientes normas

Primer Nivel. El primer nivel corresponde al de título, por tanto debe estar centrado, numerado con números arábigos y todas las letras en mayúscula.

Segundo Nivel. Un segundo nivel corresponde al subtítulo. Deben estar numerados usando números arábigos seguido por un punto y alineados a la izquierda y en cursiva.

Tercer nivel. Un tercer nivel es el número del título, seguido por el número del subtítulo y el número que corresponda en el nivel separados por comas. Utiliza letra cursiva y negrita, con números arábigos. El cuerpo del ítem debe estar inmediatamente después del encabezado, sin saltos de línea.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados deben ser presentados objetivamente en forma de gráficos y/o tablas, de ser posible en forma comparativa. Según sea el caso del tipo de artículo.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Lo principal de esta sección es presentar los principales resultados, fundamentados en los objetivos y en la teoría, deben manejarse como enunciados cortos.

RECONOCIMIENTOS

Esta sección no es de carácter obligatorio obligatoria y se coloca los agradecimientos a personas que colaboraron en el desarrollo del proyecto pero que no figuran como autores. No debe ir numerado.

REFERENCIAS AL FINAL DEL TEXTO

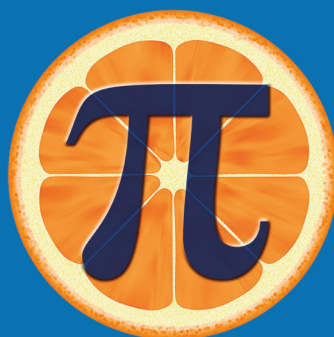
Esta sección no debe tener numeración y todas las referencias se hacen en letra de 9 puntos La lista de las obras citadas se incluye al final del artículo. Se debe referenciar en orden alfabético, según la guía de Norma Harvard <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/administration-and-support-services/library/public/Harvard.pdf>

LISTA DE AUTORES

LIST OF AUTHORS



	PAG.
Adriana Herrera	23
Andrés Leonardo Vanegas Escudero	77
Daniel Serrano	51
Francy Méndez Casallas	41
González Rodríguez Hernando	41
Jairo Gutiérrez	51
Juan Camilo Tejada	31
Jenifer Giraldo Toro	41
Johana Herrera	23
L. Plazas Pemberthy	11
Leinis León	23
Luz Flórez	51
Martha Cuenca	23
N. Paz Ruiz	11
Natalia Cano	23
Nicolás Girón Cuervo	61
Oscar Alberto Jaramillo	31
Raúl Camacho Briñez	31
Roberto Mauricio Cárdenas Cárdenas	93
Yusleivis Torres	23



**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
UNAD**

www.unad.edu.co

Sede Nacional José Celestino Mútis. calle 14 Sur No 14-23

PBX: 3443700 ext: 1422 - 1333

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

<http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/issue/archive>

publicaciones.investigacion@unad.edu.co

Bogotá. D.C. Colombia