



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

SISTEMA BASADO EN LÓGICA FUZZY PARA LA DETECCIÓN DEL NIVEL DE RIESGO DE CONTRAER ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL CONSUMO DE AGUA NO SALUBRE

Lorena Lucero Rodríguez, Kevin Ortiz Burbano, Juan Pablo Diago, Julián A. Caicedo Muñoz, Julio Mosquera Bolaños

**Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Popayán, Colombia**

Resumen

El agua es considerada de óptimas condiciones de consumo cuando sus parámetros (i.e., Físicos, químicos, microbiológicos) se encuentran bajo los valores y rangos establecidos en la normatividad colombiana; cuando estos parámetros no cumplen con los estándares de calidad, existe la probabilidad de que las personas que la consuman contraigan algún tipo de Enfermedad Vehiculizada por el Agua (EVA). En este estudio se propone un modelo de sistema basado en lógica difusa para evaluar el riesgo de contraer Enfermedades Diarreico Aguda (EDA), cuenta con nueve entradas que indican la calidad de agua (e.g., Coliformes, alcalinidad, magnesio, Escherichia Coli) y seis salidas que reflejan la vulnerabilidad de EDA en rangos de edad de la población, se estimó la implicación toxicológica para cada una de las salidas, para la prueba del sistema se toman datos extraídos del Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP), disponible en la web. Entre las principales contribuciones de este estudio se encuentran, la alerta temprana que pueden recibir los sistemas de suministro de agua potable para detectar posibles fallas en la potabilización, prevenir el consumo de agua insalubre por parte de la población, disminución de índices de EDA, preparación de los centros médicos para la asistencia de un posible brote.

Palabras clave: lógica difusa; agua; diarrea

Abstract

The optimal water consumption conditions depend on value of parameters established by Colombia quality water regulations (i.e., Physical, chemical, microbiological). When these parameters are out of the quality range, there is a risk of people catching some kind of Waterborne Disease. This paper proposes a fuzzy logic model for risk evaluation of catching EDA. The fuzzy logic model has 9 entrances as quality water parameters (e.g., Coliforms, alkalinity, magnesium, Escherichia Coli) and 6 outputs as risk of EDA catching in a specific population age range. A toxicological impact estimation was calculate for each output. For testing purposes a Information System of the Surveillance of the Quality of Water for Human Consumption - SIVICAP dataset was recollected. As result, the fuzzy logic model implemented can be taken account as baseline for early warnings in the water treatment systems, preventing unhealthy water consumption, reduction EDA indexes, and decision making by health care centers when disease outbreak is presented.

Keywords: fuzzy logic; water; diarrea

1. Introducción

Los servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene de calidad pueden evitar una amplia gama de enfermedades; sin embargo, y de acuerdo con (Organización Mundial de la Salud & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2017), en todo el mundo, alrededor de 3 de cada 10 personas o 2100 millones de personas carecen de acceso a agua potable, estimando que 850.000 personas mueren cada año por causas relacionadas con la falta de agua salubre, donde cerca del 43% son niños menores de 5 años.

Frente a este panorama, es de vital importancia tomar medidas oportunas a partir del análisis de los datos de calidad del agua que generen un diagnóstico predictivo de los riesgos al consumirla, con el fin de evitar o mitigar la posibilidad de contraer algún tipo de enfermedad. Para ello, se propone la construcción de un sistema de análisis predictivo basado en reglas (i.e. sistema fuzzy), el cual permite tratar información imprecisa, como la incidencia de algunos de los parámetros medidos en el agua que tiene relación con enfermedades específicas, tomando y analizando datos obtenidos de fuentes confiables como la literatura científica y los criterios de expertos, los cuales permiten de manera pertinente modelar el problema.

Por lo tanto, se han seleccionado de los parámetros de calidad de agua para consumo humano que se encuentran en la normatividad colombiana, los considerados de mayor impacto, esto con el fin de contrastar su relación de incidencia con enfermedades de mayor frecuencia reportadas en Colombia de acuerdo con el Instituto Nacional de Salud.

El sistema propuesto de análisis predictivo proporcionará el nivel de riesgo de contraer algún tipo de enfermedad causada por el consumo de agua insalubre, esto hará que se constituya como una herramienta esencial en el apoyo para el diagnóstico de sistemas de suministro y su tratamiento en el agua potable, así como también una alerta anticipada en los usuarios finales y los centros de salud.

La estructura del artículo es como sigue. La sección 2 (i.e. Antecedentes) presenta el contexto bajo el cual se realizó el estudio. Sección 3 (i.e. Arquitectura del Sistema Fuzzy) contiene los datos escogidos para el análisis. Sección 4 (i.e. Análisis y resultados) presenta la discusión de los resultados obtenidos. Sección 5 (i.e. Conclusiones) presenta conclusiones y consideraciones a tener en cuenta en trabajos futuros.

2. Antecedentes

2.1 Parámetros de Análisis en la calidad de agua

De acuerdo con la resolución 2115, en el Índice de Riesgo de Calidad de agua para consumo, donde se establece 22 parámetros de análisis fisicoquímicos y microbiológicos y el máximo permisible que debe tener dentro de su normativa de análisis los sistemas de suministro de agua potable (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, 2007).

2.2 Enfermedades Vehiculizadas por el Agua (EVA)

Las Enfermedades Vehiculizadas por el agua (EVA-Figura 1) son un conjunto de enfermedades causadas por microorganismos patógenos y sustancias químicas, debido a la contaminación del agua con desechos humanos, animales o químicos (e.g. Diarrea aguda, Cólera, fiebre tifoidea, dengue, paludismo) (Herrea et al., 2018).

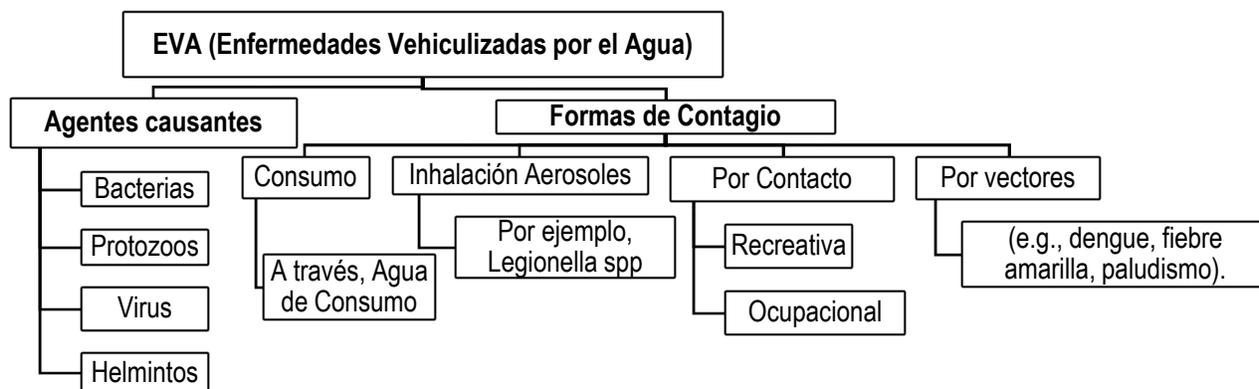


Figura 1. Agentes y formas de contagio de las EVA. Fuente: Construida a partir de (Reynolds et al., 2008) (Nava et al., 2016)(Organización Mundial de la Salud, 2006)

2.3 Riesgo

El Riesgo en la salud puede ser comparado entre la vulnerabilidad de una población frente a una amenaza o factores de riesgo, en este sentido, de acuerdo con (Guerra De Macedo, 1993) y (Torres et al., n.d.) Existen dos tipos de riesgo, *agudo* y *crónico*; el primero será motivo en este estudio debido a que este es prioridad para su control, principalmente por afectar a un mayor número de personas en menor tiempo, además tiene que ver con las consecuencias en la salud a corto plazo y una exposición menor del contaminante.

Cuando los sistemas de suministro de agua potable no cumplen con los valores de referencias recomendados normativamente para las características de la calidad de agua, se produce un riesgo de contraer algún tipo de EVA.

2.4 Enfermedad Diarreica Aguda (EDA)

Para este análisis se priorizó la EVA directamente relacionadas con el consumo de agua (Ver Figura 1), de notificación obligatoria y de alta importancia en salud pública (i.e, Enfermedad Diarreica Aguda).

De acuerdo con (Nava et al., 2016) las EDA ocupan un lugar destacado entre las enfermedades infecciosas, siendo uno de los eventos más relevantes en términos de morbilidad y mortalidad, alcanzando 4,000 millones de casos y 1,8 millones de muertes anuales en todo el mundo.

Los niños son el grupo de edad más vulnerable, con el 90% de muertes por diarrea en niños menores de cinco años, casi siempre viviendo en los países en desarrollo, además, una mejora del agua potable en los hogares puede reducir los episodios de diarrea a más del 39% (Nava et al., 2016)(Organización Mundial de la Salud & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, n.d.).

3. Arquitectura del sistema Fuzzy

3.1 Selección de datos: La selección de los datos de análisis para el sistema se realizará de acuerdo a la normatividad. Se presentan nueve parámetros químicos y microbiológicos definidos como entradas del sistema y seis etapas de desarrollo del ciclo vital definidas como salidas del sistema.

3.1.1 Características: Son los parámetros definidos como entradas en el sistema fuzzy (ver Tabla 1), estas características hacen parte de las estipuladas normativamente en la Resolución 2115 (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, 2007). Las Características han sido definidas como entradas del sistema fuzzy (Ver figura 2)

Característica	Valor máximo permisible
Turbiedad	2
pH	Entre 6,5 y 9,0
Cloro Residual Libre	Entre 0,3 y 2,0 mg/L
Alcalinidad Total	200 (mg/L)
Calcio	60 (mg/L)
Dureza Total	300 (mg/L)
Magnesio	36 (mg/L)
Coliformes Totales	Ausencia en 100 cm ³
Escherichia Coli	Ausencia en 100 cm ³

Tabla1. Características y máximos permisibles. Fuente: construida a partir de (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, 2007).

3.1.2 Etapas de desarrollo del ciclo vital: La clasificación o rango de edades fue elegido con el fin de medir el grado de sensibilidad de algunos grupos de la población frente a las EDA; e.g., presentan un mayor riesgo frente a este tipo de enfermedades las etapas de Primera infancia y Vejez(PersonaMayor.org, 2016)(Mayoclinic.org, 2020). Las etapas de desarrollo del ciclo vital han sido definidas como salidas del sistema fuzzy (Ver Figura 2).

Rangos de edad	Edad
Primera Infancia	0-6
Infancia	5-11
Adolescencia	11-18
Juventud	14-26
Adulthood	27-59
Vejez	59 En adelante

Tabla 2. Clasificación de las etapas de desarrollo del ciclo vital

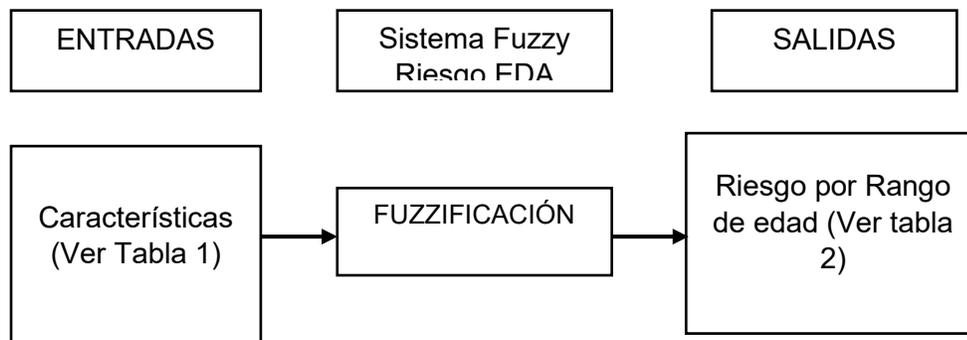


Figura 2. Entradas y salidas del sistema.

3.2 Establecimiento de reglas: El sistema cuenta con 143 reglas; estas reglas están basadas en el nivel toxicológico de cada característica y su implicación o importancia dentro de las EDA, teniendo en cuenta algunos efectos cascada que pueden provocar los parámetros entre sí.

REGLA:			
IF condición THEN acción.			
Condición: Característica in función de pertenencia. Acción: Riesgo in rango de edad			
CARACTERÍSTICA	CONDICIÓN	RANGOS DE EDAD	RIESGO
	FUNCIÓN DE PERTENENCIA		
Ecoli	Normal	Riesgo_EDA_PInfancia	Sin Riesgo
Coliformes	Normal	Riesgo_EDA_Infancia	Sin Riesgo
Turbiedad	Normal	Riesgo_EDA_Adolescencia	Sin Riesgo
pH	Normal	Riesgo_EDA_Juventud	Sin Riesgo
Cloro_residual	Normal	Riesgo_EDA_Adulthood	Sin Riesgo
Alcalinidad	Normal	Riesgo_EDA_Vejez	Sin Riesgo
Calcio	Normal		
Dureza_total	Normal		
Magnesio	Normal		

Tabla 3. Ejemplo de una regla del sistema

La Tabla 3 presenta una regla donde todos los parámetros están dentro de los máximos permisibles; esto indica que aparentemente no existe ningún riesgo de contraer EDA en todos los rangos de edad. Sin embargo, fueron importantes algunas consideraciones a tener en cuenta para la creación del resto de reglas del sistema.

- La característica de mayor impacto dentro de las EDA es Escherichia Coli y Coliformes.
- Cuando hay Coliformes existe la probabilidad de que la muestra, además de Escherichia pueda contener otro tipo de agentes patógenos (e.g., Salmonella, Shigella), lo que implica un aumento en el riesgo de contraer EDA.
- El nivel de cloro elevado o poco, no necesariamente implica contaminación o ausencia de microorganismos; sin embargo, cuando el agua presenta un elevado nivel de turbidez, los sólidos suspendidos pueden crear una barrera protectora haciendo insuficiente la descontaminación, y si además el agua presenta nivel bajo en cloro, es muy probable un crecimiento en el nivel de riesgo.
- La ausencia de Coliformes, con un elevado nivel de turbidez representa una incertidumbre de la posible presencia de otro tipo de microorganismos, lo que contribuiría al riesgo EDA.

3.3 Funciones de pertenencia: La principal ventaja del sistema basado en lógica fuzzy es la interpretación de información sin establecer un modelo matemático, por lo tanto, el riesgo puede ser interpretado con rangos en funciones de pertenencia basados en el nivel de implicación toxicológico de cada característica en las EDA. Además, el riesgo puede pertenecer a dos funciones de pertenencia a la vez (Ver Tabla 4).

Característica	Funciones de pertenencia
Ecoli	Normal, Ligeramente elevado, Riesgo elevado
Coliformes totales	Normal, Ligeramente elevado, Riesgo elevado
Turbiedad	Normal, Medio elevado, Muy elevado
pH	pH acido, Normal, pH alcalino
Cloror	Poco, Normal, Elevado
Alcalinidad	Normal, Elevada
Calcio	Normal, Elevado
Dureza Total	Normal, Elevado
Magnesio	Normal, Elevado

Tabla 4. Funciones de pertenencia de las características.

3.4 Fuente de datos: Los datos usados para la prueba del sistema fueron extraídos de (Instituto Nacional de Salud, 2008) en la sección *consolidado anual por característica* del IRCA. Fueron tomados como referencia algunos municipios del departamento del Cauca (Ver figura 3).

N° Muestras	lugar	Fecha (Año 2017)	CARACTERISTICA								
			Turbiedad	pH	Cloro Residual Libre	Alcalinidad Total	Calcio	Dureza Total	Magnesio	Coliformes Totales	Escherichia Coli
			Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
349	Popayán	29/03 - 28/11	7.0	8.37	1.5	45.0	40.0	52.0	20.0	45.0	1.0
49	Piendamó	28/03 - 05/03	2.72	7.86	1.8	34.0	12.0	34.0	13.1	140.1	1.0
50	Suarez	29/03 - 11/12	9.99	8.16	1.7	50.0	16.0	56.0	10.2	13.2	0.0
45	La Vega	27/03 - 02/11	2.3	8.49	0.1	50.0	16.0	48.0	6.8	248.1	12.1
24	Timbiquí	25/04 - 14/11	9.99	6.99	0.0	12.0	2.4	46.0	7.78	2419.6	2419.6

Figura 3. Ejemplo de datos de análisis

4. Análisis y discusión

Los datos de la Figura 4 fueron analizados y son presentados de acuerdo con los resultados del sistema; esto se hizo para cada rango de edad y lugar (ver Tabla 5).

Lugar	Riesgo Primera Infancia	Riesgo Infancia	Adolescencia	Juventud	Adulthood	Vejez
Popayán	8.93	6.63	6.6	6.41	6.57	8.91
Piendamó	9.51	7.32	7.29	7.18	7.23	9.47
Suarez	8.74	6.39	6.36	6.15	6.33	8.72
La Vega	9.51	7.32	7.29	7.18	7.23	9.47
Timbiquí	9.51	8.32	8.26	8.29	8.33	9.47

Tabla 5. Resultados del Sistema basado en lógica Fuzzy

El nivel es presentado en un rango de riesgo de 0 a 10, donde 10 es el riesgo mayor y 0 el más bajo; la literatura nos indica que el mayor riesgo se presenta en las etapas de *primera infancia* y *vejez* (PersonaMayor.org, 2016)(Mayoclinic.org, 2020) tal como lo podemos corroborar en la Tabla 5.

El nivel menos crítico de riesgo EDA es Popayán (Ver tabla 5), sin embargo, los datos analizados fue de un conjunto de muestras en los que se tomó los resultados máximos del total del conjunto, en este sentido, los valores pueden o no corresponder a la misma muestra, por lo que el resultado es una aproximación alejada de la realidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta el mismo caso para Timbiquí. Este es el lugar más crítico de riesgo EDA (Ver tabla 5), cada nivel es igual o superior a los demás, este caso en particular y de acuerdo con las cifras de (Instituto Nacional de Salud, 2008) es un territorio calificado como inviable sanitariamente, por lo que los resultados que tuvo el sistema eran esperados.

Se considera que el número de reglas (143) fue pertinente para estas pruebas; sin embargo, el sistema debe adecuarse para ciertas condiciones aún no contempladas en este estudio, además, es esencial la evaluación por parte de expertos de la interpretación que se hizo de la literatura, ya que esta pudo o no, ser acertada completamente.

Dentro de cada rango de edad pueden existir personas igual de vulnerables a niños de primera infancia o vejez, esto dependerá de su sistema inmunológico, y es una consideración no contemplada debido a que el sistema no fue diseñado para evaluación individual.

5. Conclusiones

Se propuso un sistema basado en lógica fuzzy para la detección de riesgo de contraer EDA, para lo cual se segmentó la población en edades y de acuerdo con su vulnerabilidad se le dio un mayor o menor peso, adicionalmente, se tienen características de agua de consumo que son evaluadas según su implicación en EDA. El resultado fue un nivel de riesgo EDA por cada rango de edad, que nos indica la gravedad de consumo del agua de la muestra evaluada.

Para un diagnóstico real, son necesarios los datos de cada muestra, utilizar mínimos, máximos o promedios tan solo acerca el sistema a la realidad pero no es la representación más aproximada de la misma, para futuros estudios se espera tener estos datos directamente de sistemas de suministro de agua potable, de esta manera el sistema tendrá una respuesta de un contexto real, ya que con los datos que se cuenta solo se puede validar la funcionalidad del sistema pero no se puede hacer una lectura de una situación completamente real.

Los resultados del sistema fueron los esperados según las consideraciones planteadas (i.e. La implicación de cada característica, sus efectos en cascada con la ausencia o presencia de otra característica, el nivel de vulnerabilidad por edad).

6. Referencias

- Guerra De Macedo, C. (1993). *Ponderación de los riesgos de origen microbiano y químico en la desinfección del agua potable: la perspectiva Panamericana*. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/16289/v115n5p451.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Herrea, C., Triana, D., Ruiz, A., Sánchez, L., Peralta, J., Pardo, J., Ramos, C., & Parrado, A. (2018). *Boletín epidemiológico período VIII*. http://www.villavicencio.gov.co/Documents/BOLETIN_EPIDEMIOLOGICO_VILLAVICENCIO_PERIODO_8_DE_2018.pdf
- Instituto Nacional de Salud. (2008). *Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. http://aplicacionespruebas.ins.gov.co/sivicap_new/default.aspx
- MayoClinic.org. (2020). *Diarrea - Síntomas y Causas*. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/diarrhea/symptoms-causes/syc-20352241>
- Ministerio de la Protección Social, & Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2007). Resolución Número 2115 de 2007. *Minambiente*, 23. http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- Nava, G., Guzmán, B., Gonzáles, M., & Murillo, C. (2016). *Enfermedades Vehiculizadas por el Agua (EVA) e Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) en Colombia 2015*. Instituto Nacional de Salud. [https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion/SIVICAP/2016 Enfermedades vehiculizadas por agua 2015.pdf](https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion/SIVICAP/2016%20Enfermedades%20vehiculizadas%20por%20agua%202015.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2006). WHO guidelines for drinking- water quality. *WHO Chronicle*, 1(3), 408. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Organización Mundial de la Salud, & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (n.d.). *Agua, saneamiento e higiene - La infancia y el agua: estadísticas generales*. UNICEF - OMS. Retrieved June 15, 2020, from https://www.unicef.org/spanish/wash/index_31600.html
- Organización Mundial de la Salud, & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2017). *Agua, saneamiento e higiene*. [https://www.who.int/es/news-room/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-](https://www.who.int/es/news-room/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe)

sanitation

- PersonaMayor.org. (2016). *La diarrea en ancianos y personas mayores*. <https://www.personamayor.org/consejos/la-diarrea-en-las-personas-mayores/>
- Reynolds, K. A., Mena, K. D., & Gerba, C. P. (2008). Risk of waterborne illness via drinking water in the United States. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 192, 117–158.
- Torres, P., Hernán, C., Paola, C. •, & Patiño, J. (n.d.). *Water quality index in surface sources used in water production for human consumption. A critical review*.

Sobre los autores

- **Deisy Lorena Lucero Rodríguez:** Estudiante de ingeniería Electrónica, Integrante del semillero de Investigación en Gestión Energética adscrito a GITA (Grupo de investigación en Tecnología y Ambiente), Lorena.lucero.r@uniautonomo.edu.co
- **Kevin Marino Ortiz Burbano:** Estudiante de ingeniería Electrónica, Integrante del semillero de Investigación en Gestión Energética adscrito a GITA (Grupo de investigación en Tecnología y Ambiente), Kevin.ortiz.b@uniautonomo.edu.co
- **Juan Pablo Diago Rodríguez:** Ingeniero en Automática industrial, Universidad del Cauca. Magister en Sistemas Mecatrónicos, Universidad de Brasilia UnB. Docente investigador y Coordinador de semillero de sistemas embarcados de Automatización adscrito a GITA (Grupo de investigación en Tecnología y Ambiente) juan.diago.r@uniautonomo.edu.co
- **Julián Andrés Caicedo Muñoz:** Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones, Magister en Ingeniería Telemática. Integrante del Grupo de Investigación en Tecnología y Ambiente (GITA). Docente Investigador - Facultad de Ingeniería julian.caicedo.m@unicauca.edu.co
- **Julio Andrés Mosquera Bolaños:** Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Magister en Administración de la Energía y sus Fuentes Renovables del Tecnológico de Monterrey, docente investigador y Coordinador del semillero de investigación en Gestión Energéticas, julio.mosquera.b@uniautonomo.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)