



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

**CARTAGENA, COLOMBIA
18 al 21 de septiembre de 2018**



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL RÍO MAGDALENA Y SU POTENCIAL USO EN LA PROVINCIA DEL ALTO MAGDALENA (CUNDINAMARCA)

Oscar Efrén Ospina Zúñiga

**Universidad Piloto de Colombia
Girardot, Colombia**

Resumen

El río Magdalena es considerado el principal afluente del país donde habita el 80% de la población colombiana en su cuenca y se produce el 85% del PIB nacional, aproximadamente. En la investigación se evaluó su calidad microbiológica de un tramo comprendido entre el sitio de captación de los acueductos de los municipios de Girardot y Nariño, en la provincia del Alto Magdalena, departamento de Cundinamarca, en una longitud aproximada de 32 kilómetros donde se usa esta fuente hídrica para abastecimiento humano, pesca, riego, turismo y recreación en balnearios y deportes náuticos; realizándose muestreos de agua de este río en cuatro puntos establecidos en dos diferentes temporadas (seca y de lluvia) durante el año 2016, para determinar la concentración de coliformes totales y fecales (E-coli) en NMP/100ml.

Los resultados variaron dependiendo del punto de toma de muestra, siendo crítica luego de la desembocadura del río Bogotá y aupado en múltiples descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado urbanos de Girardot (Cundinamarca), Flandes y Coello (Tolima). Aguas abajo y hacia el sitio de captación del acueducto de Nariño, se disminuye esta contaminación, producto del proceso de autodepuración que posee el río Magdalena en una longitud superior a los 20 kilómetros, siendo un evento de carácter natural donde en temporada seca se presenta mayor degradación de materia orgánica, mientras que en temporada de lluvia la precipitación contribuye con la recuperación de oxígeno disuelto. Según la normativa nacional e internacional acogida, la calidad microbiológica del agua presenta dificultad para su potabilización mediante sistemas de tratamiento convencional, requiriéndose además de procesos físico-químicos rigurosos, otros no convencionales que coadyuven a ello. La temporada seca implica el mayor riesgo a contaminación microbiológica por la disminución de la

precipitación, y por ende del caudal del río Magdalena, presentando concentraciones superiores de coliformes totales y fecales, con relación a la temporada de lluvia.

Palabras clave: calidad; microbiológica; agua

Abstract

The Magdalena River is considered the main affluent of the country where 80% of the Colombian population lives in its basin and approximately 85% of the national GDP is produced. In the investigation, the microbiological quality of a section comprised between the catchment site of the aqueducts of the municipalities of Girardot and Nariño, in the province of Alto Magdalena, department of Cundinamarca, in an approximate length of 32 kilometers where this water source for human supply, fishing, irrigation, tourism and recreation in spas and water sports; Sampling of water from this river was carried out at four points established in two different seasons (dry and rainy) during 2016, to determine the concentration of total and fecal coliforms (E-coli) in NMP / 100ml.

The results varied depending on the point of sampling, being critical after the mouth of the Bogotá river and contributing multiple discharges of wastewater from the urban sewer systems of Girardot (Cundinamarca), Flandes and Coello (Tolima). Downstream and towards the Nariño aqueduct catchment site, this pollution is diminished, as a result of the self-purification process that the Magdalena River has in a length of more than 20 kilometers, being a natural event where in the dry season there is a greater degradation of organic matter, while in rainy season precipitation contributes to the recovery of dissolved oxygen. According to the national and international norms accepted, the microbiological quality of the water presents difficulty for its purification through conventional treatment systems, requiring in addition to rigorous physical-chemical processes, other unconventional ones that contribute to this. The dry season implies the greatest risk of microbiological contamination due to the decrease in precipitation, and therefore the flow of the Magdalena River, presenting higher concentrations of total and fecal coliforms, in relation to the rainy season.

Keywords: quality; microbiological; water

1. Introducción

La riqueza hídrica que históricamente ha poseído Colombia, está en alto riesgo dada la mala práctica que la población le está dando a este preciado recurso, con la falacia que es inagotable e invulnerable (Ospina y Ramírez, 2012), siendo común el uso de los ríos como receptores de aguas residuales sin tratar, las cuales se utilizan posteriormente para diferentes actividades de tipo doméstico o agrícola (Alarcón, Beltrán, Cárdenas, Campos, 2005).

El agua para consumo debe cumplir con las condiciones físicas, organolépticas, químicas y microbiológicas establecidas por la Resolución 2115 (Ministerio de la Protección Social,

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). Para Camacho, Giles, Ortegón, Palao, Serrano y Velásquez, el término “coliformes” describe a microorganismos como bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas (2009). Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, formados aproximadamente en el 95 % por *Escherichiacoli* y ciertas especies de *Klebsiella* que se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente (Campos, 2001). Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden, incluso, ocasionar la muerte (Mora y Calvo, 2010).

La investigación se desarrolló en el río Magdalena, considerado como la principal fuente hídrica del país (Restrepo Angel, J., 2005) al representar el bastión principal para la economía y el abastecimiento en diferentes usos, entre otros aspectos; como lo considera Bernal: “El río constituye el eje de desarrollo nacional más importante, desde el punto de vista geográfico-espacial, ambiental, cultural, social, económico, demográfico, urbano, histórico y, por supuesto, hidrográfico” (Bernal, 2013)

2. Metodología

La investigación es de tipo exploratorio, haciendo la descripción de las características del agua cruda presente en el río Magdalena, en el tramo comprendido entre los municipios de Ricaurte y Nariño (Cundinamarca) dentro de la denominada región del Alto Magdalena, realizándose muestreos de agua para el análisis de parámetros microbiológicos, específicamente coliformes totales y fecales (E coli), durante la temporada seca y de lluvia ocurridas en el primer trimestre del año 2016 que estuvo influenciada por el fenómeno del Niño.



Figura 1. Coliformes fecales en el río Magdalena, desde Girardot hasta Honda
Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

Para ello se determinaron 4 puntos de toma de muestras, estando el punto 1 ubicado en el sitio de captación del acueducto de Girardot – Ricaurte y antes de la desembocadura del río Bogotá, el punto 2 en esta desembocadura, el punto 3 en el perímetro urbano de Girardot, y el punto 4

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL RÍO MAGDALENA Y SU POTENCIAL USO EN LA PROVINCIA DEL ALTO MAGDALENA (CUNDINAMARCA)

en el sitio de captación del acueducto urbano de Nariño, como se describe en la figura 1, cuyas coordenadas geográficas se definen en la tabla 1.

La ubicación especial de los 4 puntos de toma de muestras, se definen en las figuras 2 y 3. La toma de muestras de agua se realizó siguiendo las especificaciones establecidas en las normas técnicas Colombianas NTC ISO 5667/1, 5667/2 Y 5667/3 (Icontec, 1995).

COORDENADAS DE LOS PUNTOS				
	1	2	3	4
N	4°17'00"	4°17'18,90"	4°17'09,58"	4°23'50,40"
O	74°46'40"	74°47'48"	74°48'20,79"	74°50'14,39"

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los 4 puntos de muestreo en el río Magdalena
Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016



Figuras 2 y 3. Ubicación espacial de los 4 puntos de toma de muestras en el río Magdalena
Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016



Figuras 4 a 7. Toma de muestras en los 4 puntos en el río Magdalena
Fuente: Labrador, Sánchez, Vidales, y Ospina, 2016; Murillo, Toro y Ospina, 2016; Rodríguez, Herrera y Ospina, 2017.

3. Resultados y conclusiones

Los resultados de muestreos de Coliformes fecales C.F. y totales C.T., se describen en la tabla 2 y la figura 8, realizados en dos temporadas diferentes (seca y de lluvia) para analizar el comportamiento del río Magdalena.

NMP/100 ml				
Temporada de muestreo	PUNTO DE MUESTREO			
	1	2	3	4
C.F. época seca	3.500	241.960	43.520	5.630
C.F. época de lluvia	3.450	155.310	13.340	13.340
C.T. época seca	54.750	241.960	198.630	15.230
C.T. época de lluvia	38.730	241.960	111.490	111.490

Tabla 2. Resultados de C.F. y C.T. en temporada seca y de lluvia
Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

Los resultados obtenidos permiten deducir que el río Magdalena presentó mayor contaminación microbiológica para la temporada seca con relación a la de lluvia, tanto de totales como fecales, debido a la disminución de caudal por la menor precipitación que ocurre en esa época, ocasionando el aumento de la concentración de micro-organismos. Al graficar los coliformes totales y fecales para las dos temporadas a lo largo del tramo en estudio y que comprende los cuatro puntos de muestreo, donde las abscisas de cada uno de ellos se define en la tabla 3, se obtiene el comportamiento espacial de micro-organismos para temporada seca y de lluvia, siendo el río Bogotá incidente en el significativo incremento ocurrido en el río Magdalena, para ir disminuyendo aguas abajo hasta la captación del acueducto de Nariño, evidenciando la autodepuración que tiene el río en este tramo con longitud mayor a 30 kilómetros (Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016).

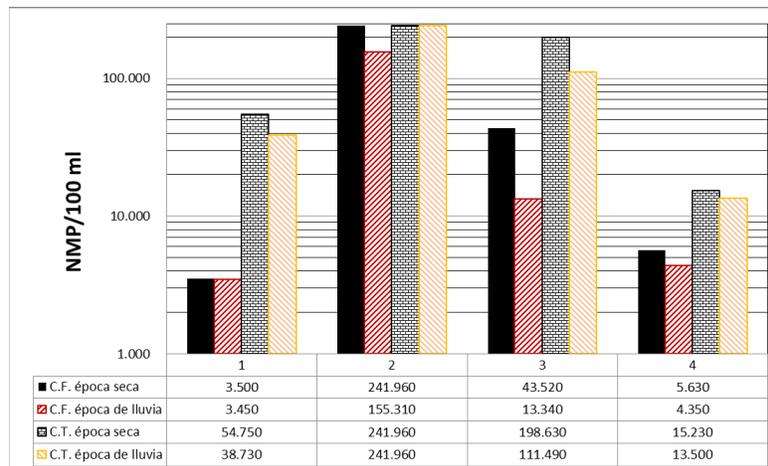


Figura 8. Resultados de C.F. y C.T. en temporada seca y de lluvia para los cuatro puntos de muestreo
Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL RÍO MAGDALENA Y SU POTENCIAL USO EN LA PROVINCIA DEL ALTO MAGDALENA (CUNDINAMARCA)

Punto de muestreo	1	2	3	4
Abscisa (m)	0	376	2.160	31.122
Localización	captación acueducto de Girardot	Desembocadura del río Bogotá	Perímetro urbano de Girardot	Captación acueducto de Nariño

Tabla 3. Abscisas de los cuatro puntos de toma de muestras a lo largo del río Magdalena
Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

A partir de la información obtenida de coliformes totales y fecales, se evaluó su viabilidad para diferentes usos en la provincia del Alto Magdalena, siendo preferencial su determinación como fuente de abastecimiento para consumo humano considerando que sea factible su potabilización mediante tecnología convencional.

Acogiendo la normativa internacional establecida en la Directiva 75/440 (Ministerio del Medio Ambiente de España, 2000) que define las características de calidad de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, según la concentración de coliformes totales (C.T.) y fecales (C.F.) la categorización del río Magdalena como fuente de abastecimiento para consumo humano correspondió a calidad A3 para el sitio de captación del acueducto de Girardot – Ricaurte y, luego de la desembocadura del río Bogotá, su calidad fue inferior. Aguas abajo y por procesos de autodepuración la fuente hídrica vuelve a ser calidad A3, como se describe en la figura 9 y 10.

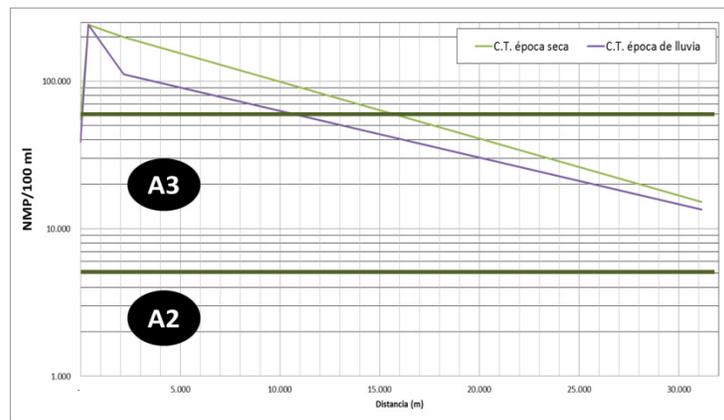


Figura 9. Categorización del tramo evaluado del río Magdalena por coliformes totales, según Directiva 75/440 del Ministerio del Medio Ambiente de España

Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL RÍO MAGDALENA Y SU POTENCIAL USO EN LA PROVINCIA DEL ALTO MAGDALENA (CUNDINAMARCA)

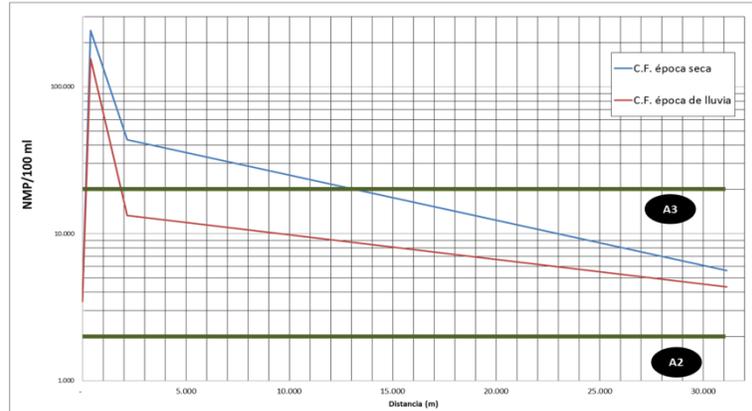


Figura 10. Categorización del tramo evaluado del río Magdalena por coliformes fecales, según Directiva 75/440 del Ministerio del Medio Ambiente de España

Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

Lo anterior implica que se requiere tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección, lo cual se puede lograr mediante los procesos de coagulación – floculación, sedimentación, filtración, afino con carbón activado y desinfección, para garantizar agua potable. Respecto a la normativa nacional, para evaluar la calidad del agua del tramo en estudio del río Magdalena, el Decreto 1594 (Ministerio de Agricultura, 1984) establece que la calidad microbiológica admisible para su potabilización por tratamiento convencional, los C.T. deben ser inferiores a 20000 NMP/100 ml y los C.F. a 2000 NMP/100 ml, como se describe en las figuras 11 y 12, lo cual no se cumplió en todo el tramo evaluado, con excepción al sitio de captación de Nariño donde los C.T. estuvieron por debajo del máximo permisible.

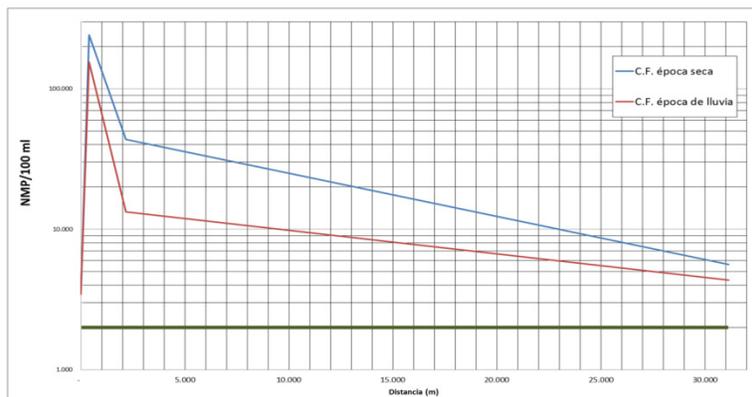


Figura 11. Categorización del tramo evaluado del río Magdalena por coliformes fecales, según Decreto 1594 de 1984

Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL RÍO MAGDALENA Y SU POTENCIAL USO EN LA PROVINCIA DEL ALTO MAGDALENA (CUNDINAMARCA)

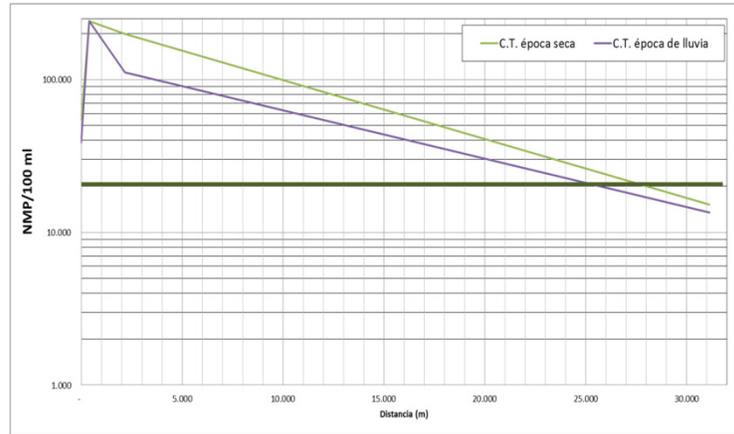


Figura 12. Categorización del tramo evaluado del río Magdalena por coliformes totales, según Decreto 1594 de 1984

Fuente: Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O., 2016

La contaminación microbiológica presente en el tramo evaluado del río Magdalena perteneciente a la provincia del Alto Magdalena, varió dependiendo del punto de toma de muestra, siendo crítica luego de la desembocadura del río Bogotá y aupado en múltiples descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado urbanos de Girardot, Flandes y Coello. Aguas abajo y hacia el sitio de captación del acueducto de Nariño, se disminuye esta contaminación, producto del proceso de autodepuración que posee el río Magdalena en una longitud superior a los 20 kilómetros, siendo un evento de carácter natural donde en temporada seca se presenta mayor degradación de materia orgánica, mientras que en temporada de lluvia la precipitación contribuye con la recuperación de oxígeno disuelto; según estudio realizado por Montes, Navarro y Domínguez (2013).

Según la normativa nacional e internacional acogida, la calidad microbiológica del agua evaluada en la provincia del Alto Magdalena, presenta dificultad para su potabilización mediante sistemas de tratamiento convencional, dada su vulnerabilidad ante altas concentraciones, donde algunos micro-organismos son resistentes al efecto de desinfección con cloro, como guardias y cryptosporidium. Para ello se requiere la incorporación de procesos físicos – químicos rigurosos que garanticen la remoción eficiente de sólidos en suspensión y coloidales, y otros no convencionales como afinado con carbón activado que coadyuven a ello, además de desinfección rigurosa con cloro que garantice la calidad requerida. La temporada seca implica el mayor riesgo a contaminación microbiológica por la disminución de la precipitación, y por ende del caudal del río Magdalena, presentando concentraciones superiores a la temporada de lluvia de C.T. y C.F.

Según la Directiva 75/440 del Ministerio del Medio Ambiente de España (2000), parte de la longitud del tramo evaluado del río en la provincia del Alto Magdalena presenta calidad inferior a A3, siendo inviable su uso para consumo humano so pena de someter al agua a tratamientos eficientes y no convencionales para su potabilización, lo cual requiere la implementación de nuevas tecnologías y bajo la consideración que la contaminación va en crecimiento con el tiempo

al aumentar la población en la cuenca alta del río Magdalena, que involucra al río Bogotá como su principal aportante de contaminación microbiológica.

4. Referencias bibliográficas

- Alarcón, M.A., Beltrán, M., Cárdenas, M.L., & Campos, M.C. (2005). Recuento y determinación de viabilidad de *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp. en aguas potables y residuales en la cuenca alta del río Bogotá. *Biomédica*, 25, 353-65.
- Bernal, E. (2013). *El Río Magdalena: Escenario primordial de la patria*. Recuperado de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/credencial/junio-2013/el-rio-magdalena>
- Camacho Botero, L.A. (2013). *Modelación de la calidad del agua superficial a la luz del Decreto 3930 – 2010*. Seminario “herramientas de gestión y control del recurso hídrico urbano”. Universidad de los Andes. Bogotá.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos*. 2º ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Campos, C. (s.f.). *Indicadores de contaminación fecal en aguas. Agua Potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. CYTED. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/agua.pdf>.
- Icontec (2008). *Calidad del agua. Muestreo. Parte 5: directrices para el muestreo de agua potable de instalaciones de tratamiento y sistemas de distribución por tubería*.
- Labrador, E., Sánchez, H., Vidales, K. y Ospina, O. (2016). *Viabilidad del río Magdalena como fuente de agua para consumo humano - caso aplicativo municipio de Nariño (Cundinamarca), Colombia*. Tesis de pre-grado. Programa de Ingeniería Civil, Universidad Piloto de Colombia. Girardot.
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). *Resolución 2115: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. Bogotá.
- Montes, R., Navarro, I., Domínguez, R. y Jiménez, A. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(5), 71-83.
- Mora, J. y Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23(5), 34-40.
- Ospina, O. y Ramírez, H. (2009). Modelo agua segura: exploración de la fábrica de agua. *Memorias* 5(12), 57-65.
- Ospina, O.E. y Ramírez, H. (2012). *Vulnerabilidad del tratamiento convencional del agua para consumo humano*. Congreso Nacional de Ingeniería Aplicada – CNIA 2012. Universidad del Tolima.
- Restrepo Angel, J. (2005). *Los sedimentos del río Magdalena*. Departamento de Geología, Universidad EAFIT. Medellín.

Sobre el autor

- **Oscar Efrén Ospina Zúñiga:** Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, Magister en Gestión y Auditorías Ambientales de la Universidad Iberoamericana de Puerto Rico. Profesor del Programa de Ingeniería Civil, Universidad Piloto de Colombia. Osca-ospina1@unipiloto.edu.co

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

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)