



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

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIA PARA VIVIENDAS ECO SOSTENIBLES DE INTERÉS RURAL EN EL ALTO MAGDALENA-COLOMBIA

Óscar Julián Oviedo Forero, Tatiana Valentina Vargas Martínez, Ancízar Barragán Alturo

**Universidad Piloto de Colombia
Girardot, Colombia**

Resumen

El siguiente documento resume la investigación denominada “Materiales reciclados como una alternativa sostenible en los componentes del proceso constructivo de viviendas rurales en Tocaima, Cundinamarca”, en cuanto al diseño de un sistema de potabilización de aguas lluvia, proyecto dirigido desde el semillero SENTRAM del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia, seccional del Alto Magdalena.

El marco teórico de este proyecto circunscribe temáticas de experiencias significativas que sobre este particular se han desarrollado en las mismas latitudes, como los países africanos y asiáticos que padecen deficiencia en el acceso al servicio de agua potable por diferentes factores, pues es un hecho que más de mil millones de personas carecen de acceso a una fuente de agua tratada, y que un número mayor consume agua contaminada en extremo. En este orden de ideas, para resolver esta problemática en el Alto Magdalena tomado como territorio, y exactamente en la vereda Vásquez, de Tocaima, Cundinamarca, se propende por la elaboración de un sistema de tratamiento integral basado en dos modelos distintos, que utilizan como fuente de energía la radiación solar, cuyas variantes se citan en este documento, los cuales son la desinfección solar y la pasteurización por medio de un calentador solar.

Para este proyecto se ha propuesto una metodología científica y documental de carácter explicativo con enfoque mixto, tanto cualitativo como cuantitativo, porque se analizarán datos e hipótesis producto de ensayos científicos que incidirán en el diseño. En primer lugar, se realizará una caracterización del agua lluvia en laboratorio, análisis que se realizará con dos pequeñas muestras

de la misma, una en estación seca y otra en temporada de lluvia, con el fin de conocer variables de interés, necesarias para proponer un diseño acorde, de modo que sirvan de referencia a lo largo de la investigación y permitan expandir el conocimiento del caso. Seguido de esto, se hace necesario evaluar mediante un presupuesto integral el costo tanto de implementación como de operación de los tratamientos, y así se escoja la solución más pertinente.

Palabras clave: potabilización; vivienda rural; pasteurización

Abstract

The following document summarizes the investigation denominated "Recycled materials as a sustainable alternative in the components of the construction process of rural homes in Tocaima, Cundinamarca", in regard to the design of a system for the potabilization of rainwater, a project run by the SENTRAM seedbed of the program of Civil Engineering of the Pilot University of Colombia, Alto Magdalena Sectional.

The theoretical framework of this project circumscribes themes of significant experiences that have been developed in this aspect in the same latitudes, such as African and Asian countries that suffer from deficiencies in access to drinking water services due to different factors, since it is a fact that more one billion people lack access to a treated water source, and that a larger number consume extremely contaminated water. In this order of ideas, aiming to solve this problem in Alto Magdalena territory, and especially in the Vásquez sidewalk, in Tocaima, Cundinamarca, the development of an integral treatment system based on two different models is sought, using solar radiation as the energy source, which are solar disinfection and pasteurization implementing a solar heater. Variants of both treatments are cited in this document.

For this project, an explanatory scientific and documentary methodology with a mixed approach, both qualitative and quantitative, has been proposed, because data and postulates from scientific literature will be analyzed and will influence the design. Initially, a characterization of the rainwater will be carried out in the laboratory, an analysis that will be carried out with two small samples of it, one from the dry season and the other from the rainy season, in order to know variables of interest, necessary to propose an according design, so that they serve as a reference throughout the investigation and allow expanding the knowledge of the case. Following this, it is necessary to evaluate through an integral budget the cost of both the implementation and operation of the treatments, and thus the most pertinent solution shall be chosen.

Keywords: Potabilization; rural housing; pasteurization

1. Introducción

El agua es uno de los elementos indispensables para la supervivencia del ser humano. Es por esto que, en torno a este agente se han desarrollado las grandes civilizaciones desde la antigüedad. A pesar de esto, es un hecho que más de mil millones de personas carecen de acceso a una fuente

de agua tratada, y que un número mayor consume agua contaminada en extremo (OMS, 2013). En consecuencia, múltiples padecimientos son generados en la población, tales como las afecciones diarreicas o la quistosomiasis, cuyas víctimas mortales en su mayoría son niños menores de cinco años de edad; frecuentes episodios de esta índole dejan a las víctimas malnutridas y con gran susceptibilidad a desarrollar otras patologías de gravedad (Burch et al., 1998). Debido a esto, la desinfección del agua es un proceso ineludible por los gobernantes de las comunidades, buscando una mejora significativa en la salud pública.

Con el fin de evitar dichos problemas de salud pública, dentro del marco de los objetivos de desarrollo del milenio, se insta a la comunidad global a reducir a la mitad, la proporción de la población sin acceso sostenible al agua potable.

Como consecuencia del objetivo del milenio “Agua potable y saneamiento básico”, para el 2015, más de 6 mil millones de personas estuvieron en capacidad de acceder a una fuente optimizada de agua (Kisakye et al., 2018); sin embargo, es posible apreciar la disparidad en la disponibilidad de agua tratada entre el área urbana global, la cual registra un 96% de cobertura, y el área rural, que presenta solamente un 84% (WHO Y UNICEF, 2015). En Colombia, se reporta que la cobertura del saneamiento básico en 2015 es deficiente, o bien, inexistente para un 3% de la población urbana y un 26% de la población rural (Torres Parra et al., 2018).

En consonancia con lo anterior, el municipio de Tocaima cuenta con alrededor de 2633 viviendas, distribuidas entre el sector rural, urbano y periurbano, las cuales poseen en términos de calidad del agua potable un riesgo bajo (Gaitán et al., 2012), esto debido al servicio prestado por la empresa de servicios públicos de Tocancipá E.S.P.; sin embargo, en ciertas zonas, como las veredas La Salada, Vila, Vásquez, entre otras; el servicio es deficiente debido a la inexistencia de infraestructura de tratamiento, aspecto en el cual la administración departamental ha venido interviniendo en los últimos años (Gobernación de Cundinamarca, 2014), pero que no incide significativamente en la totalidad de la población.

En este sentido, es posible deducir que múltiples factores, tales como la mala administración estatal, la expansión capitalista y el conflicto armado, han incidido en el incremento de las desigualdades sociales entre el sector urbano y rural en Colombia (Serna Hernández et al., 2018). Por ello, con el fin de contribuir a la solución de tal problema, desde la ingeniería civil se propende por el diseño de un sistema de potabilización de aguas lluvia para su implementación dentro de un prototipo de vivienda eco sostenible de interés rural en las veredas del municipio de Tocaima, contribuyendo al desarrollo regional, ya que es de vital importancia asegurar el bienestar de estos agentes socioeconómicos de gran relevancia en la sociedad.

2. Marco de Referencia

2.1. Potabilización del agua

El agua potable es un recurso de vital importancia el cual es escaso, por lo que invertir en sistemas de potabilización es una iniciativa que les permitirá a las comunidades suplir la demanda exponencial de este recurso. Los parámetros de calidad del agua están establecidos según el uso

que se le quiera dar a esta, de modo que se pueda satisfacer cierto tipo de necesidad teniendo en cuenta que las características deseables varían de manera sustancial. Así pues, la potabilización consiste en tratar el agua para que pueda ser apta para el consumo del ser humano, este proceso se realiza con el fin de modificar las características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas asimismo garantizar el bienestar de la salud humana (Lozano Rivas et al., 2015).

La efectividad de los sistemas no convencionales de potabilización de agua ha sido analizada en múltiples estudios. Entre estos se encuentran los sistemas de desinfección de aguas lluvia, concluyendo que, contrario a las expectativas, no existe una diferencia significativa entre la calidad microbiana de los sistemas convencionales y los sistemas informales de potabilización de agua lluvia, la cual es técnicamente, en términos de seguridad, una fuente de carácter deficiente para el consumo; esto se da, posiblemente, en consecuencia a la facilidad con la que es posible realizar la limpieza de las instalaciones de almacenamiento (Kisakye et al., 2018).

Sin embargo, algunos teóricos afirman que la seguridad microbiana del agua recolectada es cuestionada, pues múltiples vías de contaminación pueden incidir en la misma, tales como la acumulación de residuos en las canaletas, el almacenamiento inadecuado, entre otras posibles fallas de diseño y operación (De Kwaadsteniet et al., 2013). Es por esto que es necesario realizar constantemente procesos de mantenimiento y limpieza del sistema y sus instalaciones, así como el uso inmediato de los pequeños volúmenes de agua tratados en estos sistemas con el fin de evitar la proliferación de bacterias a posteriori (Kisakye et al., 2018).

Así pues, la factibilidad y conveniencia de los sistemas de potabilización de aguas lluvia en áreas rurales es amplia debido a la sencilla implementación de los mismos, así como la accesibilidad de estos a poblaciones vulnerables en términos monetarios. En Colombia, el diseño de prototipos de esta índole ha garantizado el acceso al agua potable a gran cantidad de comunidades; claro ejemplo de esto es el trabajo realizado por el equipo de ingenieros Sin Fronteras en Colombia, liderado por la Corporación Universitaria Minuto de Dios y la universidad de los Andes, quienes han implementado sistemas descentralizados de filtración en beneficio de la población rural del país (Torres Parra et al., 2018). Asimismo, se tiene registro de cinco casos de estudio en donde estos han sido implementados exitosamente por parte de otros grupos de investigación de universidades tanto locales como extranjeras (Córdoba et al., 2017).

2.2. Potabilización del agua lluvia mediante la radiación solar

La pasteurización es un proceso de tipo complementario que relaciona la temperatura y el tiempo para la destrucción de agentes contaminantes; por ejemplo, con esta bacterias, rotavirus y enterovirus desaparecen en 30 minutos a una temperatura de 68.5 grados Celsius y quistes Giardia Lamblia, los cuales son parásitos que habitan los intestinos de las personas o animales, en un tiempo de 10 minutos, a una temperatura de 56 grados Celsius (Pérez Castillo, 2008).

El primer método de desinfección de aguas lluvia expuesto en la literatura corresponde a SODIS, acrónimo del inglés de *Solar Disinfection*, el cual hace referencia a la desinfección del agua, contenida dentro de botellas PET por medio de la exposición a la radiación solar, llevándose a cabo una pasteurización del líquido; La duración de este proceso debe ser de por lo menos seis horas, para que las bacterias sean inactivadas completamente (Kisakye et al., 2018). Este método

precisa de pretratamientos para maximizar su efectividad ya que, por ejemplo, es necesario clarificar el agua, pues la presencia de color o turbidez en la misma afecta negativamente la penetración de la radiación UV (Ali et al., 2011).

Dicho lo anterior, las variantes que complementan este proceso el uso de coagulantes naturales y la Filtración por medio de carbón activado. Dentro de la primera de estas opciones cabe resaltar la semilla pulverizada de Moringa Oleífera como un pretratamiento para el agua contaminada a utilizar en SODIS, el cual no es viable si el agua presenta una turbidez mayor a 30. Asimismo, a pesar del hecho de que el método SODIS erradica completamente la presencia de coliformes totales pasadas 6 horas de exposición solar, suele presentarse una reaparición nocturna de los mismos; en cambio, al integrar Moringa, previo a la desinfección solar, y decantar los flóculos que se han coagulado, se consigue reducir la turbidez del agua y evitar tal fenómeno NTU (Keogh et al., 2017).

Así pues, para maximizar los efectos dicho pretratamiento es necesario realizar procesos de sedimentación y filtración que remuevan, primeramente, sólidos en suspensión y flóculos formados durante la coagulación con Moringa (Ali et al., 2011). En este orden de ideas, Abiyu et al. (2018) en sus estudios exponen la relación entre la turbidez del agua a tratar y la cantidad de semillas pulverizadas requeridas, así como el volumen de agua que se precisa para efectuar correctamente el proceso de coagulación.

En otra instancia, otra alternativa de pretratamiento es utilizar carbón activado previo a SODIS, el cual ha sido utilizado para remover contaminantes en el agua debido a la capacidad de adsorción latente en el mismo por propiedades como su porosidad y su gran superficie de contacto. Ahora bien, para incrementar la efectividad de este pretratamiento se deben seguir ciertos parámetros como reducir la temperatura en la que se da el proceso, regenerar o reemplazar frecuentemente el adsorbente y aumentar el tiempo de contacto en que se da la adsorción (Siong et al., 2013).

En otro orden de ideas, se identifica como segundo método de desinfección la implementación de un calentador solar, la cual ha sido probada previamente en entornos rurales como método de pasteurización para asegurar el consumo de agua tratada en los mismos. A su vez, es un modelo simple y de muy bajo precio, pues un proceso de tipo térmico cuya fuente energética es la radiación solar, por lo que este se ajusta principalmente a zonas en las cuales existen altos índices de este parámetro.

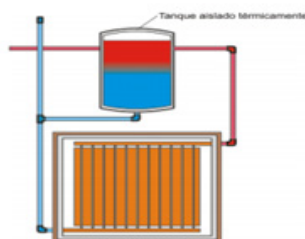
Con este se busca elevar la temperatura del agua en un lapso de tiempo, acorde a lo expuesto por Pérez Castillo (2008), y preferiblemente en momentos del día donde el sol esté en su máximo punto, de modo que se obtenga una adecuada absorción de calor y sean eliminados agentes patógenos y microbiológicos, a fin de ser almacenada en contenedores para su posterior uso.

El calentador solar hace parte de los equipos para la desinfección del agua, el cual funciona como un Circuito Convectivo, pues hace que se presente el fenómeno en el que los fluidos al calentarse aumenten su volumen y disminuyan su densidad, generando que el efluente tenga un descenso desde la parte superior y haciendo que se transporte el calor por corrientes ascendientes y descendientes del fluido (Cengel et al., 2011). Este se encuentra compuesto por una caja que posee

un marco de aluminio, con un índice de emisividad del 0,07 (Cengel et al., 2011), y una cubierta de vidrio. De igual manera, en la parte del colector posee dos tubos de cobre de color negro, que están soldados a dos tubos cabezales, los cuales almacenan el agua en el proceso del calentamiento (Pérez Castillo, 2008).

El colector aumenta la temperatura del agua hasta los 70 grados Celsius y en el centro se encuentra una placa metálica de absorción que está conectada a dos tubos de cobre, a un tanque-termo de plástico y de fibra de vidrio que posee un aislante térmico (espuma de poliuretano) en el cual se almacena el efluente que se está tratando (Universidad Nacional Autónoma de México, 2010). Cabe destacar que los tanques están divididos de tal manera que se permita el intercambio de temperaturas entre la temperatura del agua fría que entra y la temperatura del agua caliente que sale (Pérez Castillo, 2008).

Figura 1: Esquema de un calentador solar



Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de México, 2010)

3. Objetivos

Diseñar e implementar un sistema de potabilización de aguas lluvia para su inclusión en viviendas de interés rural en la vereda Vásquez, del municipio de Tocaima, Cundinamarca.

4. Metodología

Dentro del marco de la investigación formativa llevada a cabo dentro del semillero SENTRAM, por medio de este proyecto se da continuidad a la investigación denominada "Materiales reciclados como una alternativa sostenible en los componentes del proceso constructivo de viviendas rurales en Tocaima, Cundinamarca", en la cual se han caracterizado las viviendas de la vereda Vásquez del municipio de Tocaima y se ha expuesto la carencia de servicios públicos vitales, como es el caso del agua potable. Conforme a lo anterior, se propone una metodología científica y documental de carácter explicativo con enfoque mixto, tanto cualitativo como cuantitativo, porque se analizarán datos e hipótesis producto de ensayos científicos que incidirán en el diseño del sistema de potabilización.

En primer lugar, se debe realizar un estado del arte a nivel tanto nacional como global, de modo que se pueda expandir el conocimiento de este tipo de casos al recopilar experiencias de otros autores. Seguido de esto, se realizará una caracterización del agua lluvia en laboratorio; análisis

que se realizará con dos pequeñas muestras de la misma, una en estación seca y otra en temporada de lluvia, con el fin de conocer variables de interés que sirvan de referencia a lo largo de la investigación y que son necesarias para proponer un diseño acorde. Asimismo, se hace necesario evaluar mediante un presupuesto integral el costo de la implementación y operación de los tratamientos investigados, para proceder a escoger e implementar el más viable dentro de la zona de estudio.

5. Discusión

Este proyecto se encuentra en fase intermedia, pues se ha realizado un estado del arte que permitió establecer un marco de referencia de la solución. Posterior a esto, se propende por la caracterización del agua lluvia del sector, siguiendo los protocolos establecidos en la resolución 0330 de 2017. Para esto se procederá a transportar las muestras tomadas al laboratorio de la Universidad Piloto de Colombia en donde serán analizadas, y cuyos resultados se tendrán en cuenta al momento de escoger entre los tratamientos expuestos previamente en el marco de referencia, bien sea la implementación alguna de las variantes de SODIS o el diseño de un sistema integral que incluya un calentador solar como agente desinfectante; sin embargo, se debe tener presente que en cualquiera de los dos casos se requerirá incluir procesos preliminares de remoción de material grueso.

Asimismo, para dar sustento a este proyecto se busca hacer una recopilación de las cifras de precipitación de las estaciones pluviométricas más cercanas al sitio de estudio, obteniendo datos esenciales como son las curvas IDF. También cabe señalar que, una vez se haya escogido el tratamiento más eficaz y se haya finalizado el diseño del sistema, se procederá a la creación de un presupuesto acorde a los materiales y procesos que serán empleados en la elaboración de este prototipo.

En caso de que se escoja como alternativa el calentador solar, el índice de radiación que se tendrá en cuenta es el del Municipio de Tocaima, el cual oscila entre 3.5-4.0 KWh/m², (IDEAM, s/f). De igual forma, se deberá profundizar en cuanto a la inclusión de mecanismos tecnológicos que permitan automatizar el proceso de desinfección, tales como los circuitos propuestos por Sizirici (2018), que controlan el flujo del agua desde el calentador al tanque de almacenamiento de acuerdo a la temperatura del agua, medida por medio de sensores.

6. Referencias

Artículos

- Abiyu, A., Yan, D., Girma, A., Song, X., & Wang, H. (2018). Wastewater treatment potential of *Moringa stenopetala* over *Moringa olifera* as a natural coagulant, antimicrobial agent and heavy metal removals. *Cogent Environmental Science*, 4(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/23311843.2018.1433507>
- Ali, S. I., MacDonald, M., Jincy, J., Sampath, K. A., Vinothini, G., Philip, L., Hall, K., &

- Aronson, K. (2011). Efficacy of an appropriate point-of-use water treatment intervention for low-income communities in India utilizing *Moringa oleifera*, sari-cloth filtration and solar UV disinfection. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1(2), 112–123. <https://doi.org/10.2166/washdev.2011.043>
- Burch, J. D., & Thomas, K. E. (1998). Water disinfection for developing countries and potential for solar thermal pasteurization. *Solar Energy*, 64(1–3), 87–97. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00036-X)
 - Córdoba Parada, J. D., Acosta Alarcón, R., Pacheco, J. F., & Ramírez, C. (2017). Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros. *Inventum*, 11(20), 53–60. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.11.20.2016.53-60>
 - De Kwaadsteniet, M., Dobrowsky, P. H., Van Deventer, A., Khan, W., & Cloete, T. E. (2013). Domestic rainwater harvesting: Microbial and chemical water quality and point-of-use treatment systems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1629-7>
 - Keogh, M. B., Elmusharaf, K., Borde, P., & Mc Guigan, K. G. (2017). Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. *Solar Energy*, 158(October), 448–454. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.010>
 - .Kisakye, V., Matte, M., & Van der Bruggen, B. (2018). Comparison of informal rainwater harvesting systems to conventional water sources in terms of microbiological water quality. *Water Resources and Rural Development*, 10(October), 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.wrr.2018.10.002>
 - Serna Hernández, L. F., Barragán Alturo, A., & Guillermo Rodríguez, J. C. (2018). Diseño para vivienda de interés social con materiales bioconstructivos y sistema de generación eléctrica autosuficiente en el Alto Magdalena-Colombia. *Ingeniare*, 22, 69–82. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.22.1343>
 - Siong, Y., Idris, J., & At. (2013). Performance of activated carbon in water filters. *Water Resources*, January. https://www.researchgate.net/publication/234060484_Performance_of_activated_carbon_in_water_filters
 - Sizirici, B. (2018). Modified biosand filter coupled with a solar water pasteurizer: Decontamination study. *Journal of Water Process Engineering*, 23(October 2017), 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.04.008>
 - Torres Parra, C. A., García-Ubaque, C. A., García-Ubaque, J. C., García-Vaca, M. C., & Pacheco García, R. (2018). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. *Revista de Salud Pública*, 19(4), 453–459. <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.56039>
 - WHO (World Health Organization); UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund). (2015). 2015 Update and MDG Assessment. World Health Organization, 90. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Libros

- Cengel, Y., & Boles, M. (2011). Termodinámica (Apraiz Buesa et al. (ed.); 7a ed.). McGrawHill.
- Lozano-Rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). Potabilización de agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio (U. P. de Colombia (ed.); 1a ed.). Digiprint editores e.u.

Medios Electrónicos

- Gaitan, A. V., & Arias, P. A. (2012). *Una mirada al plan departamental de aguas de Cundinamarca* [Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9899/GaitanPintoAstridVeronica2012.pdf;jsessionid=F214D3972FC462B7297C7C2BB495AA2C?sequence=2>
- Gobernación de Cundinamarca-. (2014). *Tocaima, Ficha resumen*. <http://www.pdacundinamarca.com.co/images/pdf/fichastecnicas/tocaima.pdf>
- IDEAM. (s/f). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (2013). *Lucha contra Las enfermedades transmitidas por el agua en Los hogares*. http://www.who.int/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf
- Pérez Castillo, H. (2008). Acciones desinfectantes en la potabilización del agua en pequeñas comunidades. En *Universidad de Sucre*. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/300/2/628.1662P438.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México.(2010). Diseño y construcción de un calentador solar. Obtenido de : https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria18/F L DT%20Disenio_y_construccion_de_un_cal.pdf

Sobre los autores

- **Óscar Julián Oviedo Forero:** Estudiante de ingeniería civil fase de pregrado. Oscar-Oviedo2@upc.edu.co
- **Tatiana Valentina Vargas Martínez:** Estudiante de ingeniería civil fase de pregrado. tatiana-valentina@upc.edu.co
- **Ancizar Barragán Alturo:** Licenciado en matemáticas y física. Magister en educación de la Universidad del Tolima. g-abarragan@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 © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)