

Biología cuantitativa, herramienta fundamental para el desarrollo de bioprocesos.

Francisco José Valencia Alaix^a

^a Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Estudiante de doctorado en ingeniería de sistemas energéticos

^b Iagen S.A.S Director Científico

[*fjvalenc@unal.edu.co](mailto:fjvalenc@unal.edu.co), contact@iagen.com.co

RESUMEN

En el diseño de un biorreactor, las consideraciones ingenieriles están ampliamente estudiadas y modeladas, sin embargo, la descripción biológica se ha dado en menor detalle, principalmente por la complejidad de la estructura celular y su metabolismo (Piscitelli et al., 2011, Anderson et al., 2010, Doran, 2012, Liu, Hoynes-O'Connor, & Zhang, 2013).

Son numerosas las preguntas por resolver desde la perspectiva biológica, para lograr la optimización de los procesos de bioconversión, dentro de éstas están: ¿Qué tanto se conoce sobre la caracterización genética de los organismos usados?, ¿Existen organismos con potencial de bioprospección?, ¿Cómo influyen los polimorfismos genéticos en el cambio de la actividad biológica de?, ¿En qué medida las condiciones de operación de un sistema afectan la actividad celular?, ¿Cómo los fenómenos de resiliencia afectan la estabilidad de células genéticamente modificadas?, ¿De qué forma afecta el ciclo celular la cinética en un biorreactor?, ¿Cómo las modificaciones postraduccionales afectan la tasa de conversión y los mecanismos de fijación a membranas?.

Por fortuna, las herramientas aplicadas en biología, ofrecen hoy mayor información cuantitativa, gracias al desarrollo de la ingeniería de sistemas y el diseño de equipos de laboratorio de alta resolución, con gran capacidad de procesamiento, que ofrecen mayor y mejor cantidad de datos para comprender cada vez más las cajas negras en bioprocesos.

La biología cuantitativa, aparece como eje integrador para medir: relaciones evolutivas entre organismos (Zaneveld et al., 2011) y cuantificar con las “ómicas”, la actividad del ciclo celular, expresión génica, regulación, modificaciones postraduccionales y funcionamiento metabólico entre otras aplicaciones (Lee, Ow, & Oh, 2006, R. Zhang et al., 2009, Deng & Fong, 2010, Gowen & Fong, 2011, Portnoy et al., 2011, Doran, 2012, Yang et al., 2013, F. Wang, Ma, Guo, Zhuang, & Liu, 2013). De otro lado, los métodos anteriores, han dado paso a estrategias más robustas, como la biología de sistemas, biología sintética y biología metabólica (Callura, Dwyer, Isaacs, Cantor, & Collins, 2010, Foo, Ching, Chang, & Leong, 2012, F. Zhang, 2015).

Los análisis genómicos en bioprocesos, reducen la incertidumbre al momento de analizar el funcionamiento del sistema. (Gunsch, Kinney, Szaniszlo, & Whitman, 2006, Agapakis & Silver, 2009, Wu, Wang, & Chang, 2011, F. Zhang, Carothers, & Keasling, 2012, Schmidt-glenewinkel & Barkai, 2014), facilitan la construcción de modelos, sean estequiométricos (Gombert, Nielsen, Angiogenesis, & Addison-smith, 2000), Análisis de Flux Metabólico (MFA), Meta análisis de Redes Metabólicas (MNA), (Schmidt, Nielsen, & Villadsen, 1999, Vallino & Stephanopoulos, 1990), cinéticos (Liu et al., 2013) y Programación Lineal Integrada Mixta (MILP), (Segrè, Vitkup, & Church, 2002, Shlomi, Berkman, & Ruppin, 2005) entre otros.

Palabras clave: *Biología cuantitativa, Biología sintética, Biología de sistemas, Genómica, Ingeniería Racional.*

Eje temático al cual hace parte: *Biotecnología: Motor del desarrollo de la Ingeniería Química.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Doran, P. (2012). Front-matter. In A. Press (Ed.), *Bioprocess Engineering Principles* (Second Edi, p. 919). Melbourne: Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-220851-5.00016-2>
- Foo, J. L., Ching, C. B., Chang, M. W., & Leong, S. S. J. (2012). The imminent role of protein engineering in synthetic biology. *Biotechnology Advances*, 30(3), 541–549. <http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.09.008>
- Gombert, A. K., Nielsen, J., Angiogenesis, T., & Addison-smith, B. (2000). Mathematical Modelling of. *Current Opinion in Biotechnology*, 11(2), 180–186. [http://doi.org/10.1016/S0958-1669\(00\)00079-3](http://doi.org/10.1016/S0958-1669(00)00079-3)
- Gowen, C. M., & Fong, S. S. (2011). Applications of systems biology towards microbial fuel production. *Trends in Microbiology*, 19(10), 516–524. <http://doi.org/10.1016/j.tim.2011.07.005>
- Lee, C. L., Ow, D. S. W., & Oh, S. K. W. (2006). Quantitative real-time polymerase chain reaction for determination of plasmid copy number in bacteria. *Journal of Microbiological Methods*, 65(2), 258–67. <http://doi.org/10.1016/j.mimet.2005.07.019>
- Liu, D., Hoynes-O'Connor, A., & Zhang, F. (2013). Bridging the gap between systems biology and synthetic biology. *Frontiers in Microbiology*, 4(JUL), 1–8. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00211>
- Piscitelli, A., Giardina, P., Lettera, V., Pezzella, C., Sannia, G., & Faraco, V. (2011). Induction and Transcriptional Regulation of Laccases in Fungi. *Current Genomics*, 12(2), 104–112. <http://doi.org/10.2174/138920211795564331>
- Portnoy, T., Margeot, A., Seidl-Seiboth, V., Le Crom, S., Chaabane, F. Ben, Linke, R., ... Kubicek, C. P. (2011). Differential regulation of the cellulase transcription factors XYR1, ACE2, and ACE1 in trichoderma reesei strains producing high and low levels of cellulase. *Eukaryotic Cell*, 10(2), 262–271. <http://doi.org/10.1128/EC.00208-10>
- Schmidt-glenewinkel, H., & Barkai, N. (2014). Loss of growth homeostasis by genetic decoupling of cell division from biomass growth: implication for size control mechanisms. *Molecular Systems Biology*, 10(769), 1–11.
- Segrè, D., Vitkup, D., & Church, G. M. (2002). Analysis of optimality in natural and perturbed metabolic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(23), 15112–15117. <http://doi.org/10.1073/pnas.232349399>
- Shlomi, T., Berkman, O., & Ruppin, E. (2005). Regulatory on off minimization of metabolic flux. *Pnas*, 102(21), 7695–7700. <http://doi.org/10.1073/pnas.0406346102>
- Vallino, J. J., & Stephanopoulos, G. (1990). Flux determination in cellular bioreaction networks: applications to lysine fermentations. In *Frontiers in bioprocessing* (pp. 205–291).
- Wang, F., Ma, A. Z., Guo, C., Zhuang, G. Q., & Liu, C. Z. (2013). Ultrasound-intensified laccase production from *Trametes versicolor*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 118–124. <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.05.003>
- Yang, Y., Wei, F., Zhuo, R., Fan, F., Liu, H., Zhang, C., ... Zhang, X. (2013). Enhancing the

laccase production and laccase gene expression in the white-rot fungus *Trametes velutina* 5930 with great potential for biotechnological applications by different metal ions and aromatic compounds. *PLoS ONE*, 8(11).

<http://doi.org/10.1371/journal.pone.0079307>

Zaneveld, J. R. R., Parfrey, L. W., Van Treuren, W., Lozupone, C., Clemente, J. C., Knights, D., ... Knight, R. (2011). Combined phylogenetic and genomic approaches for the high-throughput study of microbial habitat adaptation. *Trends in Microbiology*, 19(10), 472–482. <http://doi.org/10.1016/j.tim.2011.07.006>

Zhang, F. (2015). Special Issue on Circuits in Metabolic Engineering. *ACS Synthetic Biology*, 4(2), 93–94. <http://doi.org/10.1021/acssynbio.5b00021>

Zhang, R., Wei, M., Ji, H., Chen, X., Qiu, G., & Zhou, H. (2009). Application of real-time PCR to monitor population dynamics of defined mixed cultures of moderate thermophiles involved in bioleaching of chalcopyrite. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 81(6), 1161–8. <http://doi.org/10.1007/s00253-008-1792-8>

Universidad
Nacional
de
Colombia

PLANTILLA PARA CONFERENCIAS NACIONALES

La crisis ambiental del planeta Tierra

Martha Cobo*

*Grupo de investigación en Energía, Materiales y Ambiente, Universidad de La Sabana,
Departamento de Ingeniería Química, profesora
martha.cobo@unisabana.edu.co

RESUMEN

El planeta tierra se encuentra aquejado por varios males que afectan el entorno y la supervivencia de las especies que lo habitamos. Entre ellos se destacan: (1) la contaminación ambiental, (2) el cambio climático, (3) la contaminación del agua y las fuentes hídricas, (4) la pérdida de la biodiversidad, (5) el deterioro de la calidad de vida humana y la degradación social y (6) la inequidad planetaria. La solución de este problema requiere el cambio de actitud de los gobiernos, las empresas, las sociedades y las personas. Se requiere una preocupación por el ambiente unida a un constante compromiso ante los problemas de la sociedad. El ambiente es un bien colectivo, patrimonio de toda la humanidad y responsabilidad de todos. Debido a que el ser humano es la especie más evolucionada del planeta, se ha apropiado de él, pero quien se apropia de algo es sólo para administrarlo en bien de todos. Lo anterior incluye a todas las especies y los recursos del planeta. La Ingeniería Química es una disciplina que tiene una gran responsabilidad y posibilidad de aportar en el cambio de tendencia de deterioro del planeta. En esta conferencia, evaluaremos el estado del planeta en los seis temas que se mencionaron y la oportunidad de la ingeniería química de aportar soluciones al deterioro ambiental.

Palabras clave: Ambiente, contaminación, cambio climático, agua.

Eje temático al cual hace parte: Energía, Materiales y Ambiente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

M. Bloomberg, C. Pope. Climate of Hope: How Cities, Businesses, and Citizens Can Save the Planet. St Martin's Press. First Ed. New York.

A. Francova, V Chrastný, H. Sillerova, M. Vítkova, J. Kocourkova, M. Komarek. Evaluating the suitability of different environmental samples for tracing atmospheric pollution in industrial areas. Environmental Pollution 220 (2017) 286e297.

L. Solís, J. López. Principios básicos de la contaminación ambiental. Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México. Primera Edición. 2003. México.

J. Izasa, D. Campos. Cambio climático. Editorial de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Primera Edición. 2007. Bogotá.

DISEÑO Y DESEMPEÑO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE FERMENTACIÓN CON MEMBRANAS

Javier Fontalvo Alzate

Grupo de Investigación en Aplicación de nuevas tecnologías, Laboratorio de intensificación de procesos y sistemas híbridos, Departamento de ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia – sede Manizales
jfontalvoa@unal.edu.co

RESUMEN

Los bioprocesos, y específicamente los procesos de fermentación, se constituyen como un tipo de industria muy interesante para un país como Colombia y permiten contribuir en la estructuración de una economía de base tecnológica. Sin embargo, los procesos de fermentación tienen en común una serie de problemas asociados a los tiempos de operación, bajas concentraciones del producto en el fermentador, inhibición por producto, limitaciones para la operación en continuo, altos costos de separación del producto final y elevados consumos de agua, principalmente. Si los procesos de fermentación se pueden acoplar con procesos de separación eficientes se pueden mitigar varios de estos problemas para obtener fermentadores intensificados más eficientes.

La tecnología de membranas permite la separación de una gama amplia de componentes mediante una diversidad interesante de tipos de procesos. Esta tecnología permite el diseño de sistemas compactos que pueden ser integrados con facilidad con equipos convencionalmente usados en la Industria, son eficientes energéticamente, fáciles de diagnosticar y permiten un diseño modular.

Esta conferencia presenta los principales tipos de procesos con membranas que se pueden integrar con procesos de fermentación así como también las ventajas y consecuencias de esa integración. Adicionalmente se explican una serie de factores que, desde el punto de diseño, se tienen que tener en cuenta para generar procesos integrados de fermentación y membranas eficientes y viables.

Palabras clave: Intensificación de procesos, fermentadores de membrana, tecnología de membranas

Eje temático al cual hace parte: Procesos avanzados de separación y Biotecnología

REMOCION DE CONTAMINANTES MEDIANTE FOTOCATALISIS SOLAR: INTRODUCCION Y APLICACIONES

Ximena Vargas Ramírez ^a

^a Universidad del Atlántico, programa de ingeniería química

*ximenavargas@mail.uniatlantico.edu.co

RESUMEN

Una de las principales problemáticas que tenemos hoy en día es la generación de efluentes contaminantes que afectan fuentes superficiales. Por ejemplo, muchos contaminantes causan coloración en las aguas receptoras que pueden causar afectaciones durante la fotosíntesis de las plantas o de las algas por impedimentos en la absorción y recepción de luz (1).

Diversas tecnologías han sido desarrolladas con el esfuerzo de mitigar el impacto ambiental y en particular, los procesos avanzados de oxidación se convierten en una alternativa para el tratamiento y mejoramiento de la calidad del recurso hídrico disponible en el planeta. Entre estos procesos se encuentra la fotocatalisis, un proceso que se basa en la absorción de energía radiante (UV o visible) por un sólido y una serie de reacciones que permiten la conversión de los contaminantes en sustancias inocuas. Colombia, por su posición geográfica en la zona tórrida del planeta, a pesar de las condiciones climáticas variadas y especiales que afectan el aprovechamiento del recurso solar, cuenta con regiones con alta disponibilidad de radiación solar en las zonas costeras y la región andina. Dicha radiación puede ser empleada en los procesos de descontaminación de efluentes por medio de fotocatalisis heterogénea.

En los últimos 10 años se ha dado un auge con los reactores solares, usando fotocatalisis heterogénea para aplicaciones en tratamiento de aguas y gases. Hoy día existen diversos reactores piloto y comerciales entre ellos se destacan los colectores cilindro parabólicos compuestos (CPC), colectores parabólicos y colectores no concentrados (con películas delgadas (2) y en Colombia se han hecho diversas investigaciones aplicadas, entre ellas, remoción de colorantes mediante colectores no concentrados (3), reactores CPCs para evaluación de desinfección y nuevos diseños de reactores para remoción de materia orgánica que se describen en este trabajo.

Palabras clave: fotocatalisis solar, reactores solares, tratamiento de aguas.

Eje temático al cual hace parte: Energía, materiales y ambiente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blesa, M Red Cytel VIII, Eliminación de contaminantes por Fotocatalisis Heterogénea, capítulo 8. La Plata, Argentina (2001)
2. Spasiano, D; Marotta, R; Malato, S; Fernandez-Ibañez, P y Di Somma, I. Applied Catalysis B: Environmental, 170-171, p 90-123. (2015)
3. Romero, H y Vargas X. Methylene Blue Degradation by Heterogenous Photocatalysis using Titanium Dioxide Supported on low Density Polyethylene Films (LDPE). Libro de Abstracts 4th Latin American Congress of Photocatalysis, Photochemistry and photobiology, UIS, 2017. ISBN 978-958-8819-47(2016).

Pirólisis de Biomasa: estudios de análisis de gases desprendidos

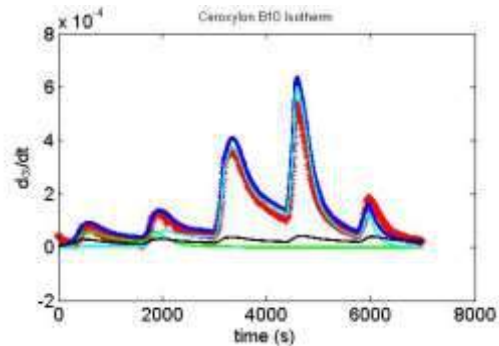
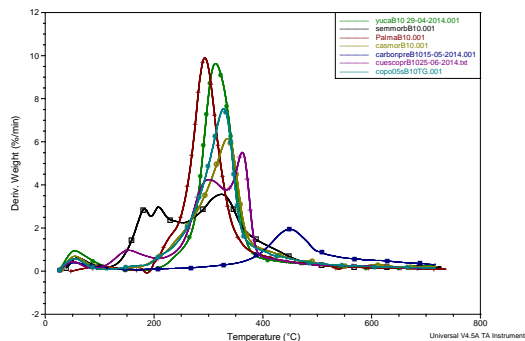
Alberto Ricardo Albis Arrieta^{a*}

^aIngeniero Químico, Dr. Sc., Universidad del Atlántico, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Química

*albertoalbis@uniatlantico.edu.co

RESUMEN

La contaminación del ambiente y el calentamiento global son las principales motivaciones de muchos estudios científicos que tienen como objetivo sustituir parcial o totalmente a combustibles y precursores de materias primas con una huella de carbono muy negativa. Así es como surgen los biocombustibles de primera, segunda y tercera generación. Entre los procesos para generar combustibles de segunda generación se encuentra la pirólisis cuyo objetivo principal es la producción de combustibles líquidos. La pirólisis de biomasa genera tres fracciones: una fracción gaseosa que puede utilizarse como combustible de bajo poder calorífico, una fracción sólida que puede utilizarse como adsorbente o fertilizante y una fracción líquida que está constituida por una fase orgánica o bioaceite y una fase acuosa. La fracción líquida es rica en una gran variedad de compuestos que contienen casi todas las funciones orgánicas. Estos compuestos, además de servir como combustibles líquidos, son potenciales materias primas para la elaboración de productos de mayor valor agregado que pueden reemplazar o complementar los productos que actualmente se obtienen a partir de materias primas no renovables. Sin embargo, son muchos los retos que deben enfrentarse para viabilizar técnica y económicamente estos procesos a nivel industrial. Entre estos tenemos: variabilidad de la composición de materias primas, multiplicidad de productos difíciles de purificar, balance energético marginal, desconocimiento de las reacciones químicas involucradas, inestabilidad química de los productos, multiplicidad de configuraciones de los reactores, entre otras. Para abordar estos problemas es necesario el uso de herramientas que permitan aproximarse al estudio cinético del proceso de pirólisis de diferentes tipos de biomasa y la influencia de otras variables de proceso, de una forma rápida y sistemática. El análisis de gases desprendidos (EGA, Evolved Gas Analysis) es una excelente herramienta para lograr este objetivo. En esta presentación se hará un breve recorrido por diferentes estrategias para el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica y se ejemplificará como la técnica de análisis de gases desprendidos puede utilizarse para el estudio de la pirólisis de la misma. Se hará énfasis sobre los resultados obtenidos por parte del grupo de investigación.



Palabras clave: Biomasa, Análisis de gases desprendidos, Pirólisis.

Eje temático al cual hace parte: Energía, materiales y ambiente

Universidad
Nacional
de
Colombia

Como ser un Héroe con Process Safety?

Nelson Guevara

Director HESQ, Yara Colombia

nelson.guevara@yara.com

RESUMEN

Durante el último siglo, la industria se desarrolló rápidamente, haciendo que los riesgos asociados a ella se incrementarán proporcionalmente. El desconocimiento o mala administración de los peligros, con los que la industria convivía a diario, conformaban el escenario perfecto para la materialización de grandes riesgos que se convertían en desastres, afectando bienes materiales, ambiente y, sobre todo, trabajadores y comunidades. Como consecuencia de estos desastres, se fueron implementando prácticas y estándares tendientes a prevenir los accidentes, o a mitigarlos cuando estos sucedían. A partir de esta trágica experiencia nace la Seguridad de Procesos – SP (Process Safety – PS). Esta curva de aprendizaje ha costado hasta la fecha miles de vidas, efectos ambientales irreparables y pérdidas económicas incalculables.

La Seguridad de Procesos se basa en la correcta identificación de las barreras requeridas para disminuir los riesgos hasta valores tolerables. Sin embargo, para tener un sistema de Seguridad de Procesos exitoso, esta identificación de barreras debe complementarse con la correcta administración y mantenimiento de las mismas.

Actualmente, diferentes países y organismos internacionales han propuestos sistemas para administrar los riesgos asociados al manejo industrial de sustancias químicas peligrosas. Estos sistemas de gestión se conocen como Administración de Seguridad de Procesos – ASP (Process Safety Management – PSM)

ASP (PSM) puede resumirse como el sistema para la identificación de los peligros asociados a un proceso, la implementación y mantenimiento de barreras para controlar los riesgos y la definición de planes de atención en caso de presentarse emergencias, siempre relacionado a facilidades o industrias donde se involucren sustancias químicas peligrosas que en caso de fugas, puedan ocasionar incendio, explosión o emisiones tóxicas, con afectación a las personas, ambiente o bienes materiales.

Como todo sistema de gestión, ASP es diseñado, implementado, mantenido y actualizado por personas. Lo que significa que solo el compromiso y la correcta actitud del personal involucrado logran que un sistema de ASP funcione correctamente. Es ahí donde los Ingenieros Químicos se pueden volver héroes. Son los dueños del proceso, y si tienen la actitud correcta, podrán evitar impactos ambientales irremediables, reducir cuantiosas pérdidas económicas y, lo más importante, salvar miles de vidas. Se puede ser héroe con Process Safety.

Palabras clave: Barreras, Riesgos, Peligros.

Eje temático al cual hace parte: Seguridad de Proceso

Estado del Arte del Saneamiento Hídrico en Manizales

Juan David Salazar Espitia ^{a*}

^a Aguas de Manizales S.A E.S.P.

*saneamiento01@aguasdeManizales.com.co

RESUMEN

La ciudad de Manizales se encuentra desarrollada sobre la cuenca del río Chinchiná y sus microcuencas afluentes, entre ellas las quebradas Manizales y Olivares, esta última tributaria del río Guacaica y éste, a su vez, del río Chinchiná. Debido a la conformación topográfica (favorable a soluciones parciales de desagüe), fue posible que el alcantarillado fuera construido en forma de pequeñas redes con descargas a los cauces naturales más inmediatos como las quebradas. Sin embargo, según el incremento en el crecimiento del área urbanizada, aumentaron el número de descargas y los flujos de aguas residuales, generando la contaminación de las numerosas quebradas urbanas y el propio río Chinchiná, produciendo un deterioro sobre la calidad del agua, daño en la vida acuática, riesgos en la salud humana y detrimento del paisaje.

Debido a que la cuenca del río Chinchiná hace parte de las ocho cuencas más contaminadas del país, su descontaminación se encuentra priorizada en el Plan de Desarrollo Nacional, para lo cual el Gobierno Nacional adelanta el Programa “Saneamiento de Vertimientos – SAVER”, donde Aguas de Manizales, como empresa prestadora de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado de la zona, consciente del impacto ambiental generado por la contaminación de los cuerpos de agua que rodean la ciudad de Manizales originada en las actividades de sus habitantes en sus viviendas, establecimientos comerciales, oficiales e industriales; y cumpliendo con la normatividad, diseña y ejecuta el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), avalado por la autoridad ambiental, como solución enfocada en el saneamiento hídrico de las aguas residuales generadas por las actividades mencionadas anteriormente, donde uno de los principales objetivos de esta solución fue la creación del Comité Técnico de Lodos, el cual hace referencia a un convenio entre Empresa, el Estado y la Academia para la ejecución de proyectos de desarrollo tecnológico que propenden a la descontaminación y preservación del recurso hídrico.

Este comité, es un grupo de trabajo interinstitucional constituido por la Universidad de Caldas, la Universidad Católica de Manizales, el Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA - Caldas, la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas) y el proceso de Saneamiento Hídrico de la empresa Aguas de Manizales S.A E.S.P encargado de contribuir a la recuperación y mantenimiento de la calidad de los cuerpos de agua receptores de las aguas residuales provenientes del alcantarillado de Manizales, donde el principal objetivo es generar una red de conocimiento enfocado en el análisis y tratamiento de las aguas residuales y de los lodos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales, haciendo uso y levantamiento de información primaria y secundaria para el correcto desarrollo proyecto de Saneamiento que realiza Aguas de Manizales S.A E.S.P.

Según lo anterior, en la presente conferencia se mencionarán los procedimientos y resultados claves sobre el proyecto desarrollado por el Comité Técnico de Lodos junto con su respectiva importancia y aporte, al igual que consideraciones enfocadas en necesidades y problemáticas descubiertas durante el proceso.

Universidad
Nacional
de
Colombia

Palabras clave: PSMV, Saneamiento Hídrico, Generación de Conocimiento, Comité Técnico de Lodos.

- **Eje temático al cual hace parte:** Energía, materiales y ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.* (2004). Resolución 1433. Bogotá D.C.
- *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.* (2015). Resolución 0631. Bogotá D.C.
- *Departamento Nacional de Planeación.* (2015). Plan Nacional de Desarrollo: Todos por un nuevo país. Tomos 1 y 2. Bogotá D.C.
- *Aguas de Manizales S.A E.S.P.* (2016). Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos. Manizales, Caldas.